Королевская школа Мостов и Дорог

1842 – 1843

Заметки из курса железных дорог (1842–1843)

Лекции, прочитанные в Школе Мостов и Дорог, посвященные описанию работ, выполненных на железной дороге из Парижа в Орлеан, и некоторым общим соображениям о железных дорогах.

1-я Лекция

Последующие лекции не ставят своей целью полный курс о железных дорогах, а лишь описание работ на железной дороге из Парижа в Орлеан с некоторыми общими соображениями.

Общие идеи об эксплуатации железной дороги.

Первое, что следует рассмотреть, это локомотив. Локомотивы сильно менялись в весе: изначально они весили 6 тонн; затем их вес последовательно увеличивали до 8, 10 и 12 тонн; локомотивы линии Корбей весят 15 тонн, локомотивы линии Орлеана будут весить почти 16 тонн.

Позади локомотива находится тендер, вагон, который везет воду и кокс, необходимые для питания машины. Тендеры, как и машины, менялись в весе; тендеры железной дороги Париж-Орлеан – шестиколесные, весят 10 тонн в полной загрузке. Они обычно содержат 4 кубических метра воды и от 500 до 600 кг кокса.

Пассажирские вагоны бывают трех классов: дилижансы, вагоны и открытые вагоны. Эти вагоны порожние весят в среднем 3500 кг, они вмещают от 24 до 36 пассажиров, так что в загруженном состоянии их вес составляет около 5,5 т.

Багажные вагоны весят – загруженные – 5,5 т.

Вагоны для муки и товаров – 6 т, включая загрузку.

Вагоны для почтовых карет – 5 т.

Вагоны-конюшни для перевозки скота – 4,5 т, включая загрузку.

Ширина колеи составляет 1,44 м между внутренними краями рельсов. Этот размер до сих пор был единообразным для всех больших железных дорог во Франции.

Смена путей предназначена для перевода машины с одного пути на другой. По возможности, один и тот же путь никогда не должен использоваться в обоих направлениях: есть путь туда и путь обратно. Переключения осуществляются с помощью подвижных остряков (стрелок), которые приближают или отодвигают в зависимости от того, хотят ли сменить путь или остаться на том же. Эта операция требует для некоторых переключений присутствия человека, называемого стрелочником. Именно от него одного, а не от машиниста, зависит проход по тому или иному пути.

Для перехода с одного пути на другой, пересекающийся под определенным углом, используют поворотную платформу. Это чугунная плита, которая несет один или два пути и достаточно велика, чтобы вместить колеса экипажа. Эта платформа опирается на тележку, подвижную, как и она, вокруг вертикальной оси.

Не вдаваясь в детали паровой машины, мы скажем лишь то, что делает локомотив особенным. Локомотив состоит из паровой машины и двух ведущих колес большого диаметра (от 5 до 6 английских футов); ось имеет два колена под прямым углом, образующих два своеобразных кривошипа: шток поршня действует на конец колена посредством шатуна. Таким образом, вращательное движение передается ведущему колесу; поскольку оно не может вращаться само по себе, благодаря трению колеса о рельс, оно движется вперед. Однако если нагрузка, которую должна тянуть машина, создает на нее усилие, превышающее трение колеса о рельс, машина не продвинется вперед, и ведущие колеса будут вращаться на месте. Колен два, потому что с одним был бы момент, когда шатун не оказывал бы никакого воздействия для создания движения. Эти коленчатые оси являются сложными деталями в конструкции локомотивов; но их нельзя избежать, чтобы дать проход шатуну. Ось закреплена на колесах; два или четыре других колеса машины вращаются благодаря связи, которую система устанавливает между ними и двумя ведущими колесами.

Расчеты по локомотиву, чтобы дать четкое представление о работе, которую он выполняет. Мы примем обозначения г-на Гийонно де Памбура, который является автором теории локомотива, которую мы здесь изложим:

M (тонны)	вес локомотива;
M (тонны)	вес состава, включая тендер;
K (килограммы)	коэффициент трения на тонну; (K = 2,70), т.е. если к вагону привязать веревку, перекинутую через блок, вес, необходимый для приведения вагона в движение, составит K кг на тонну.
г (миллиметры метры килограммы)	*g* (метры) – уклон в миллиметрах на метр, который может иметь путь в рассматриваемой точке. *g* (мм/км)– выражает уклон на километр. *g* (в килограммах) – это усилие, обусловленное силой тяжести вдоль уклона, для веса в одну тонну.
V (километры)	скорость движения автоколонны в час.

Первый вопрос, который мы предлагаем решить, таков:

Когда состав движется и достиг равномерной скорости, определить усилие, которое оказывает машина? Или иначе: предположим, что состав движется, отделим на мгновение тендер и все вагоны и найдем вес, который, будучи привязан к веревке, перекинутой через блок, оказывал бы на машину такое же действие, как и состав.

Пусть *X* – этот вес, выраженный в килограммах.

Если путь горизонтальный,

$$X = KM$$

Если путь наклонный,

$$X = KM \pm gM \pm gm$$

учитывая вес m локомотива. Знак + соответствует подъему, знак — спуску.

Если мы учтем сопротивление воздуха, которым долго пренебрегали, но которое, однако, создает заметное сопротивление, нужно добавить новый член. Оно было оценено экспериментально; оно пропорционально квадрату скорости. Таким образом, имеем:

[1] $$X = KM \pm gM \pm gm + uv^2$$

Применение. Пусть состав из 12 вагонов на уровневой трассе. Члены gM и gm исчезают из уравнения. Принимая вес каждого вагона 5,5^{т} и 10^{т} для тендера, M = 76^{т} и так как K = 2,70, получим KM = 76 × 2,70 = 205,2 кг.

Оценим теперь сопротивление воздуха. Мы предположим, что воздух совершенно неподвижен. Если есть ветер, его нужно учитывать либо в плюс, либо в минус. *u* пропорционально площади поверхности, которую состав представляет воздуху; Σ – эта площадь, имеем:

$$u = a \sum$$

a – это в килограммах сопротивление, оказываемое воздухом площади в 1 квадратный метр, движущейся со скоростью 1 километр в час.

$$a = 0{,}0064 \text{ кг}.$$

Что касается Σ, вот как ее оценивают: w – количество вагонов в составе, включая тендер и локомотив, тогда:

$$\sum = (6 + w) \text{ м}.\ \text{с}$$

6$^{м.s}$ – это избыток площади, который первый вагон или машина имеют по сравнению с другими вагонами, и затем предполагается, что сопротивление воздуха, приходящееся на вагон, тендер или машину, действует либо на колеса и оси, либо на наружные поверхности каждого вагона, в силу того, что расстояние между ними составляет 1$^{m.s}$.

Член uv^2 становится таким образом:

$$uv^2 = 0{,}005064\,(6 + w)\,v^{2.}$$

В рассматриваемом нами случае, где w = 14 и скорость составляет 40 километров в час, имеем uv^2 = 162 кг и, следовательно,

$$X = 367 \text{ кг}.$$

Таким образом, машина находится в том же положении, как если бы груз в 367 кг был подвешен к вертикальной веревке, перекинутой через блок, и эта веревка, став горизонтальной, была бы затем прикреплена к машине; последняя должна была бы поднимать этот груз со скоростью 40 км/ч.

К этим сопротивлениям, которые машина должна преодолевать, нужно добавить ее собственное трение. Это добавочное сопротивление, которое также можно представить грузом, помещенным позади машины.

Пусть F – трение различных органов машины, когда она работает одна и без нагрузки; согласно Памбуру имеем:

$$F = 6{,}70 \times m \qquad \text{или, если угодно,} \quad F = 7\ m\ .$$

Есть основания пересмотреть этот способ оценки F и изменить его, так как современные машины сильно отличаются от тех, на которых экспериментировал Памбур; но цель, которую здесь ставят, – скорее дать четкое представление о машине и о том, как следует оценивать ее работу, чем предоставить совершенно точные коэффициенты для практики; забота о проведении необходимых экспериментов, столь трудных и деликатных, для точного определения этих коэффициентов оставляется другим.

Трение машины, кроме того, увеличивается пропорционально нагрузке, которую она тянет, и может быть оценено в целом по формуле:

$$F + \partial\, X$$

где δ – постоянный коэффициент, который, по г-ну де Памбуру, составляет 0,14 для машин с двумя ведущими колесами и 0,21 для машин с четырьмя ведущими колесами.

Обозначая через Y общую сумму сопротивлений, которые машина должна преодолеть, имеем:

$$[\,2\,] \quad Y = F + (1 + \partial)\, X\ .$$

и в предыдущем примере, предполагая, что машина весила 15 тонн, как на линии Корбей, получим:

$$Y = 523{,}38\ кг\ .\ .$$

Зная сопротивление, которое машина должна преодолеть, посмотрим, что происходит внутри машины. Мы предположим, что движение стало равномерным, что происходит через короткое время после начала движения.

Пусть:

D (метры) – диаметр ведущего колеса,

d (метры) – диаметр цилиндра, в котором движется поршень,

l (метры) – ход поршня.

Пусть на некоторый момент z – сила, действующая на поршень или на конце кривошипа. Окружность, описываемая концом кривошипа или точкой приложения силы

z, очевидно, равна $2l$; радиус этого кривошипа, или плечо рычага, на конце которого действует сила z, следовательно, равен $\frac{l}{\Pi}$.

Горизонтальная сила, противодействующая движению машины, может рассматриваться как приложенная к рельсу, по его направлению и в точке касания колеса. Если бы не было трения, колесо вращалось бы само по себе. Но здесь есть своего рода зацепление, сопротивление, создаваемое шероховатостью поверхности контакта, которое равно горизонтальной силе Y, которую машина должна преодолеть.

Эта сила Y действует с плечом рычага $\frac{D}{2}$.

Для равномерности движения необходимо равновесие между этими двумя силами z и Y ли равенство их моментов относительно оси вращения; следовательно,

$$Y\frac{D}{2}=z\frac{l}{\Pi}$$

откуда $$z=\frac{\Pi D}{2l}Y$$

Назовем теперь R реальное давление, выраженное в килограммах на квадратный метр, которое пар оказывает на поршень.

Эффективное давление будет $R-p-p'v$, где $p+p'v$ выражает давление, также в кг/м², которое испытывает поршень в направлении, противоположном его движению.

p = 10335^{кг} – это атмосферное давление.

$p'v$ – это давление, обусловленное паром, который выходит через сопло и которое меняется со скоростью движения машины; это давление связано с тем, что пар выходит не в открытый воздух, а в канал, называемый соплом, где его функция, выходя с определенным давлением, заключается в создании тяги в дымовой трубе и, таким образом, содействии горению.

p' = 76,62^{кг} – мы предполагаем ее постоянной для простоты, но, возможно, здесь следовало бы провести новые эксперименты для определения противодавления, испытываемого поршнем при своем ходе из-за эффекта сопла.

Так как имеется два поршня, общая площадь которых равна $2\frac{\Pi d^2}{4}$ или $\frac{\Pi d^2}{2}$ получим:

$$Z=\frac{\Pi d^2}{2}(R-p-p'v)$$

или, заменяя Z его значением через y и $Z=\frac{\Pi d^2}{2l}y$, извлекая значение R:

[3] $$R=\frac{D}{d^2 l}Y+p+p'v$$

Применяя эту формулу к уже рассмотренному частному случаю и предполагая, как для наших машин на линии Корбей:

$$D = 1{,}33 \qquad d = 0{,}33 \qquad l = 0{,}457\ ,$$

выполнив вычисления, получим:

$$R = 32542^{K}$$

Дополнительные заметки. Вес локомотива на 6 колесах для пассажиров, используемого на линии Корбей, составляет 15 т; сцепной вес, или вес, приходящийся на два ведущих колеса, составляет 7–8 тонн; различные части машины имеют следующие размеры:

D – диаметр ведущего колеса . . . . . 1,85 м

l – ход поршня . . . . . 0,457 м

d – диаметр цилиндра . . . . . 0,33 м

Общая поверхность нагрева составляет 69,50, из которых 5,10 – стенки топки, а остальное – трубки.

Вес локомотива на 6 колесах для пассажиров (новая модель), который будет использоваться на линии Орлеана, составляет 16 т. Сцепной вес, приходящийся на 2 ведущих колеса, составляет от 7,50 до 8,50 т.

$$D = 1{,}67 \qquad l = 0{,}508 \qquad d = 0{,}355$$

Общая поверхность нагрева составляет 76,00, из которых 2,87 – стенки топки, а остальное – трубки.

Вес локомотива на 6 колесах для товаров (последняя модель) со сцепленными колесами, который будет использоваться на линии Орлеана, составляет 16 т. Сцепной вес, приходящийся на 4 ведущих колеса, составляет 10–11 т.

$$D = 1{,}37 \qquad l = 0{,}508 \qquad d = 0{,}355$$

Общая поверхность нагрева составляет 76,00, из которых 2,87 – стенки топки, а остальное – трубки.

Тендеры шестиколесные; порожний тендер весит 5 400кг

полный, с примерно 4 м³ воды и 500–600 кг кокса 10 000кг

	Точные веса	
	вагонов порожних	вагонов загруженных
Вагоны 1-го класса (дилижансы) с пассажирами	3345 кг	5025 кг
Вагоны 2-го класса для пассажиров, на 30 человек	3560 кг	5660 кг
Вагоны 3-го класса открытые для пассажиров, на 30 человек	2880 кг	5400 кг
Багажные вагоны	4200 кг	5200 кг
Вагоны для мешков с мукой	5060 кг	6060 кг
Вагоны для товаров	2955 кг	5955 кг

Вагоны для почтовых карет	2795 кг	5295 кг
Вагоны-конюшни	3120 кг	4320 кг

Масса вагонов

В расчетах можно, принимая средние значения, считать, что:

пассажирский вагон весит порожним . . . 3500^{кг}, а груженым . . . 5500^{кг}.

товарный вагон весит порожним . . . . . 3000^{кг}, а груженым . . . 6000^{кг}.

Вагоны для почтовых карет и вагоны-конюшни приравниваются к пассажирским вагонам.

Колеса вагонов, движущихся с большой скоростью (в пассажирских составах), имеют диаметр 1,00^{м}. Пара с осью весит 476^{кг}.

Бандажи этих колес слегка конические; они имеют с внутренней стороны реборду (гребень) высотой 3–4 см, предотвращающую их сход с рельсов.

Ширина пассажирских вагонов варьируется от 2,40^{м} до 2,50^{м}; с подножками эта ширина составляет 3,10^{м}; дверь, через которую должен проходить вагон, должна иметь ширину не менее 3,16^{м}.

Высота вагона-конюшни над землей составляет 3,40^{м}; это самый высокий вагон.

2-я Лекция.

В прошлой лекции мы установили следующие формулы:

$$X = KM \pm gM + uv^{2.}$$
$$Y = F + (1 + \delta)$$
$$R = \frac{D}{d^2 l} Y + p + p'v$$

X представляет сопротивление, которое нужно преодолеть, помимо трения машины.

Y – горизонтальное усилие, или полное сопротивление, которое нужно преодолеть для буксировки состава и преодоления трений машины, иначе говоря, сопротивление, оказываемое рельсом ведущему колесу при его движении.

R – реальное давление, выраженное в килограммах на квадратный метр, которое пар оказывает на поршень; эффективное давление будет $R - p - p'v$, где $p + p'v$ также выражает давление в кг/м², испытываемое поршнем в направлении, противоположном его движению:

p – атмосферное давление, или 10335 кг/м².

$p'v$ – давление, обусловленное паром, находящимся с другой стороны поршня; этот член меняется со скоростью движения. Мы придадим p' постоянное значение $76{,}62^{кг}$. Пределы, в которых изменяется скорость, достаточно близки, чтобы эта гипотеза была допустимой.

Первая из формул содержит в члене, относящемся к усилию, создаваемому силой тяжести, величину M; в действительности в формулу следовало бы подставлять составляющую веса M, нормальную к наклонной плоскости, но из-за малого уклона пути принимают сам вес M за его составляющую.

Две особенности отличают локомотив от обычных паровых машин:

Требовалось производить за короткое время большое количество пара; этого достигли, пропуская через котел большое количество малых трубок, через которые проходит пламя и которые представляют ему очень большую поверхность нагрева.

Пар, после того как подействовал на поршень и довел его до конца хода, выходит через очень узкую трубу, которая ведет в дымовую трубу: тяга и, следовательно, интенсивность горения значительно усиливаются благодаря этому устройству.

Согласно вышесказанному, внутренность локомотива разделяется на три основных отсека: рис. (1).

Топка, котел и трубы, и дымовая коробка.

Пусть S – эффективное парообразование, выраженное в кубических метрах в час; это количество измеряется количеством использованной или вышедшей из тендера воды, уменьшенным на потери, которые происходят либо через трубы насоса, либо через пар, выходящий через предохранительные клапаны, либо, наконец, через воду, которая проходит в цилиндры в жидком состоянии, увлекаемая паром, и не производит никакого эффекта (мы не будем вдаваться в детали оценки этих потерь, предположим, что S задано результатом эксперимента на машине).

S изменяется со скоростью состава, но незначительно: если S – это парообразование при скорости 32 км/ч, а S' – парообразование при скорости 40 км/ч, то $S' = S \sqrt[4]{\frac{40}{32}}$.

Пусть μ – относительный объем пара в цилиндре, т.е. отношение при определенном давлении и температуре между объемом пара и объемом породившей его воды, или, другими словами, количество кубических метров, которое займет пар, полученный из одного кубического метра воды, или, наконец, $\frac{1}{d}$, где d – плотность этого пара. Памбур устанавливает, что μ и R связаны между собой соотношением:

$$[4] \qquad \mu = \frac{1}{n} + g_n R, \quad n = 0{,}0001421, \quad (q)\ g = 0{,}0000000471$$

Он также устанавливает как экспериментальный факт, что пар всегда сохраняет в различных состояниях температуры и давления, которые он может последовательно занимать в машине, свою максимальную плотность; этот закон мы примем, не имея возможности проверить его точность. μS будет объемом пара, произведенного котлом за один час под давлением R. Этот объем пара постоянно заполнял цилиндры в течение этого времени.

Площадь основания цилиндров равна $\frac{\pi d^2}{4}$.

Ход поршня равен l.

Вредное пространство цилиндра обозначено через c. Объем двух цилиндров будет:

$$\frac{\pi d^2}{2} (l + c)$$

Принимают, что $$c = \frac{1}{20} l.$$

$\frac{\mu S}{\frac{\pi d^2}{2}(l + c)}$ будет, очевидно, количеством раз, которое цилиндры наполнились за час. При каждом наполнении цилиндров ведущее колесо поворачивается на половину окружности и, следовательно, продвигается на $\frac{\pi D}{2}$. Таким образом, путь, пройденный за час, равен:

$$\frac{\pi D}{2} \ x \ \frac{\mu d}{\frac{\pi d^2}{2}(l + c)} \ mètres$$

Это скорость в час, выраженная в метрах, и скорость V, которая должна быть выражена в километрах, будет:

$$[5] \qquad V = \frac{1}{1000} \frac{\mu S D}{d^2 (l + c)}$$

Эта формула, вместе с четырьмя предыдущими, служит для решения двух задач, которые чаще всего ставятся: либо найти скорость, которую примет состав, состоящий из известного числа вагонов или определенной нагрузки, т.е. V как функция M; либо определить число вагонов, которое машина сможет везти с заданной скоростью, т.е. M как функция V.

Исключая X, Y, μ и R из пяти ранее установленных уравнений, получаем формулу, данную Памбуром.

$$V = \frac{1}{1000} \frac{l}{l + c} \frac{1}{q} \frac{S}{(1 + \delta)\,[(K \pm g)\,M \pm gm + uv^2] + F + \frac{d^2 l}{D}\left(\frac{n}{q} + p + p' + p'v\right)}$$

Эта формула дает V, но как функцию V, и только путем подбора можно ею пользоваться; но нам кажется более простым пользоваться пятью формулами, которые мы представили выше, и мы так и будем делать во всех наших расчетах.

Решая формулу относительно M, находим

$$M = \frac{1}{(1 + \delta)(K \pm g)} \left[\frac{1}{1000} \frac{l}{l + c} \frac{S}{q\,v} - \frac{d^2 l}{D}\left(\frac{n}{q} + p + p'v\right) - F\right] - \frac{1}{K \pm g}(u\,v^2 \pm g\,m)$$

M здесь снова дается как функция от M, потому что термин uv^2 неявно включает M, поскольку для определения v необходимо сделать предположение о M, поскольку сопротивление воздуха зависит от количества автомобилей.

-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-

Обсуждение формул.

1. В этих формулах Y, как мы сказали, есть горизонтальное усилие ведущего колеса на рельс. Необходимо, чтобы рельс оказывал сопротивление, по крайней мере равное Y: ибо если бы Y было больше этого сопротивления, колесо вращалось бы на месте, не продвигаясь, или, как говорят, оно буксовало бы. Это сцепление рельса с колесом, или трение, составляет около $\frac{1}{10}$ веса, приходящегося на ведущее колесо. Чтобы увеличить это сцепление, увеличивают часть веса машины, поддерживаемую этим колесом; так, для машины в 16 тонн ведущие колеса поддерживают 8 или 9 тонн; следовательно, нужно, чтобы Y не превышало 800 или 900 кг.

2. Необходимо, чтобы значение R не превышало 5 атмосфер, это установлено правилами и гарантируется предохранительными клапанами. Мы будем считать, что R никогда не должно превышать 5 атмосфер, или, круглым счетом, 50 000[кг].

3. μ уменьшается, когда R увеличивается, и увеличивается, когда R уменьшается, как доказывает соотношение $\mu = \frac{1}{n + qR}$. Наименьшее значение μ соответствует наибольшему R. Так как это наибольшее значение R равно 50 000кг, наименьшее μ будет около 400. Соответствующая температура составляет 157,8°C. Следовательно, наименьшее значение V для определенного значения S будет:

$$V = \frac{S\ D\ \mu}{d^2\ (l + c)\ 1000} = \frac{S\ D}{d^2\ (l + c)}\ \frac{400}{1\,000} = \frac{2}{5}\ \frac{S\ D}{d^2\ (l + c)}$$

Если мы применим это к машинам Корбей, для которых $S = 2\ м^3$, получим:

$$\frac{D}{d^2\ (l + c)} = \frac{1{,}83}{0{,}0525} = \frac{18\,300}{525} = 35 \text{ около}$$

Минимум v составит около 28км/ч. Это минимум v для $S = 2\ м^3$.

Если бы хотели идти медленнее, нужно было бы уменьшить парообразование, но это не дало бы преимуществ с точки зрения экономии топлива.

4. Максимум v соответствует, как мы видели, максимуму μ и минимуму R, что понятно. Однако всегда нужно, чтобы R было достаточно велико, чтобы машина преодолевала свое собственное трение и тянула свой тендер. Максимум v будет соответствовать , т.е. $M = 10\ T$. случаю, когда состав сводится к машине и тендеру.

Здесь необходимо учитывать изменение, которое может испытывать S при увеличении скорости.

Пусть S' – парообразование, соответствующее этому максимуму скорости. Получим:

$$S' = S \sqrt[4]{\frac{v}{32}}$$

S - соответствующее испарение при $v = 32\ км$. . Примем гипотезу $v = 64\ км/ч$, $S = 2\ м^3$:

у нас будет: $S' = S \sqrt[4]{2} = 2^{m.c.},38$

Исходя из этого значения S', применяя наши формулы, мы придем к значению V около 59км/ч. Это значение меньше 64км/ч, из которых мы исходили; наша гипотеза с $V = 64$ лишком велика. Следовало бы предположить , $V = 60$ оказалось бы, что эта гипотеза слишком мала, и в итоге значение V находится между 60 и 64. Продолжая подбор, найдем $V = 61^{км/ч}$ для максимальной скорости машин Корбей. Это примерно то, что дал опыт.

5. Можно было бы задаться целью найти значение M, соответствующее минимуму V или , $V = 28\ км/ч$ при μ = 400 и R = 50 000кг.

Предполагая $K = 3$ по причинам, которые мы изложим позже, найдем . $M = 200\ T$. Вес тендера – 10 т, остается на вес вагонов 190 т, или, разделив на 5,5 т (вес вагона), получим около 35 вагонов. Однако на практике никогда не следует доходить до этого:

1. потому что давление в котле не может постоянно поддерживаться на уровне 50 000 кг/м² из-за больших потерь через предохранительные клапаны; нужно немного уменьшить эту цифру.
2. потому что давление в цилиндрах или на поршень должно быть на некоторую величину, какой бы малой мы ее ни предполагали, меньше, чем давление в котле.
3. потому что для трогания со станций всегда нужно иметь достаточно заметный избыток силы, чтобы привести состав в движение, так как состав в момент отправления не может выполнять функцию маховика, как при полном ходе.
4. потому что никогда не бываешь точно на уровне, и, абстрагируясь от потерь, вызванных принятой трассировкой, существуют уклоны, возникающие из-за неровностей укладки рельсов и неравномерной осадки пути.
5. потому что есть кривые, которые сильно увеличивают трение.
6. потому что воздух не всегда спокоен, как мы предполагаем в наших формулах, и он значительно увеличивает сопротивление, когда он прямо противоположен движению или когда дует сбоку, прижимая реборды всех колес к одному рельсу и создавая своего рода заклинивание, очень вредное для хода состава.
7. потому что состояние рельсов – сухие, влажные, скользкие (как при оттепели) – может изменять коэффициент К. Именно чтобы учесть это изменение и поставить себя в неблагоприятную гипотезу, мы только что приняли $K = 3$ вместо $K = 2{,}70$, данного г-ном Памбуром.
8. Потому что это состояние рельсов особенно влияет на сцепление машины и может значительно его уменьшить; наихудшее состояние рельсов – когда они скользкие; наиболее благоприятное состояние – когда они хорошо просушены летом или вымыты сильными дождями.
9. Потому что, наконец, машина может быть не в достаточно хорошем состоянии, или машинист недостаточно заботлив, чтобы заставить машину производить весь пар, который она может дать.

Все эти обстоятельства приводят к тому, что в конечном итоге формулы не могут полностью заменить опыт, и часто приходится все еще полагаться на него; однако формулы имеют большое преимущество: 1. давать четкое представление о том, как происходит движение; 2. позволять устанавливать законы, по которым движение должно изменяться; 3. наконец, не слишком отклоняться от истины.

О полезной работе.

Выше мы нашли значение M как функцию v. Выражение для полезной работы получим, умножая это значение M на v а у нас будет

$$M\ v = \frac{1}{(1+\delta)(K \pm g)}\left[\frac{1}{1000} + \frac{l}{l+c}\ x\ \frac{3}{q} - d^2\frac{lv}{D}\left(\frac{n}{q} + p + p'v\right) - F_y\right] - \frac{v}{K \pm g}\left(uv^2 \pm gm\right)$$

Но на практике лучше искать отдельно M и v и выводить Mv численным умножением.

Оценка полезной работы в лошадиных силах. Сильная лошадь, идущая шагом (со скоростью 4000 м/ч или 67 м/мин, что является ее наиболее выгодной скоростью), может постоянно прилагать усилие в 67 килограммов, или, если угодно, поднимать груз в 67 кг, подвешенный на конце веревки, или, круглым счетом, поднимать 4500 кг на 1 метр в минуту. Работа за час составит $4.500 \times 60 = 270.000\ кг{\cdot}м$. Так как на железнодорожном пути уровня нужно прилагать усилие в 2,70 кг, чтобы тянуть одну тонну, отсюда следует, что лошадь потянет за час столько раз одну тонну на один километр, сколько раз 2,70 x 1000, или 2700, содержится в 270 000, т.е. 100 тонн. Сила одной лошади на железнодорожном пути уровня представлена, следовательно, как 100 тонн, пройденных на 1 километр, или как 100, где единица – тонна, умноженная на километр.

Чтобы получить полезную работу в лошадиных силах, достаточно разделить Mv на 100.

3-я Лекция.

О максимальной полезной работе.

Если вернуться к значению Mv, можно заметить, что v входит только в отрицательные члены, за исключением случая спуска, где Mv может достичь очень большого, неограниченного значения, но которое обусловлено действием силы тяжести, а не мощностью машины, и, следовательно, выходит за рамки нашего рассмотрения. Таким образом, Mv достигает своего максимума, когда v максимально мало для данного парообразования. Минимум v соответствует минимуму μ и максимуму R, который, как известно, равен R = 50.000 кг.

Экономия топлива – важный вопрос. N – количество кокса в кг, сжигаемого в час (результат эксперимента). Количество кокса, потребляемого на тонну и на километр, равно $\frac{N}{(M-c)v}$, где c – вес тендера, который не следует учитывать в полезной работе, производимой коксом.

Количество воды S, превращенной в пар за час и действующей в цилиндре, составляет лишь часть общей воды S', расходуемой за час, и в целом с учетом потерь всякого рода. $S = 0{,}70\ S'$ $0{,}25\ S'$ увлекается в жидком состоянии в цилиндр, а $0{,}05\ S'$ – это пар, потерянный через клапаны. Количество воды, потребляемой на тонну и на километр, равно $\frac{S}{(M-c)v}$.

N варьируется на кубический метр воды между 140 и 175 кг. Поездка из Парижа в Корбей, следовательно, расходует 2 м³ воды и около 350 кг кокса.

С помощью установленных выше формул можно решить множество задач, все они очень просты. Упомянем некоторые из них:

Пусть M – вес поезда на подъеме или спуске, а M'' – вес поезда на уровне, который создавал бы такое же сопротивление на машину. Какова связь между этими двумя величинами?

На подъеме: $K\ M'' = K\ M + gM + gm$

На спуске: $K\ M'' = K\ M - gM - gm = K\ M - g\ (M + m)$

Следовательно, для $K\ M = g\ (M + m)$, или $g = \frac{K\ M}{M + m}$, имеем $M'' = 0$; это случай, когда состав спускается без какого-либо усилия со стороны машины; в самом деле, понятно, что существует уклон, при котором вес компенсирует трение.

Когда g будет меньше, чем $\frac{K\ M}{M + m}$, машина должна будет тянуть; когда g будет больше, чем $\frac{K\ M}{M + m}$, машина будет стремиться быть толкаемой; но из этого не следует, что машина должна перестать функционировать, потому что она могла бы быть толкаема настолько слабо, что не имела бы нужной скорости, и тогда нужно, чтобы машина действовала.

1. Можно разделить уклоны на три класса:

1° Уклоны от 0 мм до 3 мм, на которых сила тяжести меньше трения, и поезд не шел бы без помощи машины.

2° Уклоны от 3 мм до 5 мм, на которых сила тяжести превосходит трение, и поезда, следовательно, спускаются сами, но со скоростью, недостаточной, чтобы обойтись без помощи машины.

3° Уклоны свыше 5 мм, на которых сила тяжести настолько превосходит трение, что поезда приобрели бы слишком большую скорость во время спуска, если бы не замедляли скорость действием тормозов.

В первом случае машина должна действовать, и ее действие рассчитывается по вышеприведенным формулам.

Во втором случае машина все еще должна действовать, но умеренно, т.е. уменьшая парообразование или теряя пар.

В третьем случае машинист должен полностью закрыть регулятор, и машина больше не должна действовать. В этом последнем случае это простая задача о силе тяжести, в которой машина фигурирует только как более тяжелый вагон, чем другие.

Вес состава равен $M+m$; сила, обусловленная тяжестью, $g(M+m)$; сопротивление из-за трения $K(M+m)$; сила, действующая на состав, равна:

$$(g-K)(M+m) .$$

Сопротивление воздуха равно $u\,v^2$.

Движение сначала будет ускоряться, а затем станет равномерным, когда будет выполнено условие:

$$(g - K)(M + m) = u\,v^2$$

Можно убедиться, применяя эту формулу, что на уклоне в 10 мм для состава из 10 вагонов скорость никогда не превысит 20 льё в час, что является скоростью, часто допускаемой на некоторых английских дорогах.

Действительно: $M = 10\ x\ 5^t,5 + 10 = 65$ $m = 15$ т. ; $M+m = 80$ т.

$$g - K = 10 - 3 = 7 \qquad u = 0{,}005064\ x\ (6+12) = 0.091$$

Итак, мы имеем, чтобы найти v, уравнение: $7 \times 80 = 560 = 0{,}091\ v^2$

откуда $$v^2 = \frac{560}{0{,}091} = \frac{560000}{91} = 6152$$

Таким образом, V находится немного ниже 79 км/ч, и эта скорость может быть еще снижена кривыми и неровностями пути.

Однако для большей безопасности и сохранности подвижного состава на спусках обычно устанавливают правило не превышать скорость 10 льё (40 км/ч), что легко достигается с помощью тормозов. В Англии даже удавалось достаточно умерять скорость с помощью тормозов на уклонах в 30 мм; но если бы все тормоза сломались (что маловероятно), скорость не стала бы бесконечной, как публика иногда себе представляет, а была бы ограничена сопротивлением воздуха.

Теперь поставим задачу найти время прохождения по пути, состоящему, как и все пути, из серии горизонтальных площадок, спусков и подъемов.

Пусть:

L, L', L'', L''' – длины каждого из этих спусков, подъемов или горизонтальных участков, выраженные в километрах.

v, v', v'', v''' – соответствующие скорости для заданного состава М, рассчитанные по вышеприведенным формулам.

Время прохождения будет равно:

$$\frac{L}{v} + \frac{L'}{v'} + \frac{L''}{v''} + \frac{L'''}{v'''} + и т . д .$$

а средняя скорость на пути будет длина пути, деленная на время прохождения:

$$\frac{L + L' + L'' + L''' + и т . д .}{\frac{L}{v} + \frac{L'}{v'} + \frac{L''}{v''} + \frac{L'''}{v'''} + и т . д .}$$

Применяя эту формулу, можно убедиться, что всегда выгоднее быть на уровне и что горизонтальный путь лучше, чем подъем и спуск, следующие друг за другом.

Найдем теперь среднюю нагрузку машин во время их движения по пути.

Когда состав сформирован, нагрузка меняется для каждого подъема или спуска из-за действия силы тяжести.

Пусть M', M'', M''', M'''' – нагрузки, которые для данного состава соответствуют каждому спуску, горизонтали или подъему.

Время, в течение которого каждая нагрузка приложена к машине, равно

$$\frac{L'}{v'}, \frac{L''}{v''}, \frac{L'''}{v'''}, \ldots$$

Средняя нагрузка равна:

$$\frac{\frac{M'L'}{v'} + \frac{M''L''}{v''} + \frac{M'''L'''}{v'''} + \ldots}{\frac{L'}{v'} + \frac{L''}{v''} + \frac{L'''}{v'''} + \ldots}$$

Если рассматриваемый путь состоит из подъемов и спусков, расположенных между двумя точками на одном уровне, всегда окажется, что средняя нагрузка машины на этих уклонах будет выше, чем она была бы на горизонтальном участке.

При утверждении трассы необходимо рассматривать все эти вопросы, чтобы определить, какой вариант предпочтительнее; понятно, что задача меняется для пассажирской дороги и для товарной. В первом случае скорость является очень важным элементом, для второго же, наоборот, прежде всего следует учитывать нагрузку.

Способы преодоления подъемов на железных дорогах.

На подъеме менее 5 мм/м обычно стараются уменьшить состав настолько, чтобы можно было подняться без неудобств, не прибегая к иной помощи, кроме несколько более высокого давления в котле.

На подъеме от 5 до 10 мм приходится рассчитывать по крайней мере иногда на дополнительный локомотив, и желательно по возможности иметь поблизости от такого подъема станцию, где находятся вспомогательные локомотивы.

На подъеме свыше 10 мм необходимо использовать стационарные машины.

Все эти способы имеют недостатки, которые легко себе представить.

Теперь мы поговорим о вероятном будущем локомотивов и об изменениях и улучшениях, которые они уже получили и, вероятно, еще получат.

Сначала напомним формулы, связывающие давление и температуру для водяного пара при его максимальной плотности.

Давление p будет выражаться в килограммах на квадратный сантиметр.

Температура t – в градусах стоградусного термометра (Цельсия).

Имеем:

1° для давлений меньше атмосферного ниже 1,0335 кг/см²:

$$\left\{\begin{array}{ll} \text{формулы Саузерна.} & p = 0{,}0034542 + \left(\dfrac{46{,}278 + t}{145{,}360}\right)^{5{,}13} \\ \text{и} & t = 145{,}360\ \sqrt[5{,}13]{p - 0{,}0034542} - 46{,}278 \end{array}\right\} \quad (1)$$

2° для давлений между 1 и 4 атмосферами (между 1,0335 и 4,1440 кг/см²):

$$\left\{\begin{array}{ll} \text{формула Памбура.} & p = \left(\dfrac{72{,}67 + t}{171{,}72}\right)^{6} \\ \text{и} & t = 171{,}72\ \sqrt[6]{p} - 72{,}67 \end{array}\right\} \quad (2)$$

3° для давлений между 4 и 50 атмосферами (между 4,1440 и 51,6750 кг/см²):

$$\left\{\begin{array}{ll} \text{формула Дюлонга и Араго.} & p = \left(0{,}28658 + 0{,}0072003\ t\right)^{5} \\ \text{и} & t = 138{,}883\ \sqrt[5]{p} - 39{,}802 \end{array}\right\} \quad (3)$$

Назовем теперь μ относительным объемом пара, взятого в определенном состоянии, т.е. при определенном давлении и температуре; $\mu = \frac{1}{d}$ – плотность пара, принимая плотность воды за единицу.

μ выражает отношение объема, занимаемого паром в рассматриваемом состоянии, к объему воды, которая его породила.

μ выражает также количество кубических метров, которое занял бы один кубический метр воды, превращенный в пар при рассматриваемых температуре и давлении.

Так, для пара при 100°С под атмосферным давлением известно, что плотность равна , $\frac{1}{1700}$ плотность воды при ее максимальной плотности принимается за единицу; следовательно, $\mu = 1700$. Таким образом, один кубический метр воды при этой температуре 100°С и под атмосферным давлением $p = 1{,}0335\ кг$. займет объем 1700 кубических метров.

Исходя из этого, имеем:

Согласно закону Мариотта для двух паров, температуры, давления и относительные объемы которых представлены t, p, μ для одного и t', p', μ' для другого:

когда $t = t'$ $$\frac{\mu}{\mu'} = \frac{p'}{p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

и согласно закону Гей-Люссака:

когда $p = p'$ $$\frac{\mu}{\mu'} = \frac{1 + 0{,}00364\ t}{1 + 0{,}00364\ t'} \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

Комбинируя эти две формулы (4) и (5), можно, зная относительный объем μ' пара при определенном давлении p' и определенной температуре t', рассчитать относительный объем μ того же пара при давлении p и температуре t.

В самом деле, пусть для момента μ'' относительный объем того же пара при давлении p и температуре t', тогда в силу соотношения (5) получим:

$$\frac{\mu}{\mu''} = \frac{1 + 0{,}00364\ t}{1 + 0{,}00364\ t'}$$

и в силу соотношения (4)

$$\frac{\mu''}{\mu'} = \frac{p'}{p} \qquad \text{откуда} \qquad \mu'' = \mu' \cdot \frac{p'}{p}$$

и $$\mu = \mu'' \times \frac{1 + 0{,}00364\ t}{1 + 0{,}00364\ t'}$$

или $$\mu = \mu' \frac{p'}{p} \times \frac{1 + 0{,}00364\ t}{1 + 0{,}00364\ t'} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

однако, если мы обойдемся без этого значения μ

$$p' = 1\ К\ ,335 \qquad t' = 100° \qquad \mu' = 1700$$

и если мы подставим вместо p и t значения, соответствующие различным состояниям пара, остающегося при максимальной плотности, а эти значения p и t даны нам формулами (1), (2) и (3), то найдём соответствующие значения μ.

Таким образом, для вычисления различных значений μ для пара при его максимальной плотности мы будем использовать следующую формулу:

$$\mu = 1700 \times \frac{1{,}0335}{p} \times \frac{1 + 0{,}00364\ t}{1{,}364} = 1287\ \frac{1 + 0{,}00364\ t}{\mu} \quad \ldots\ldots (7)$$

подставляя в нее для t и p значения, выведенные из формул (1), (2) и (3).

Значения μ, рассчитанные по этой формуле, приведены в третьей колонке нижеследующей таблицы.

Теперь Памбур дал для прямой связи между μ и p (единственными величинами, которые необходимо знать) формулу:

$$\mu = \frac{1}{n + q\ R} \qquad R = 10\,000\ p \qquad n = \frac{1421000}{(10)^{10}} \qquad q = \frac{471}{(10)^{10}}$$

или

$$R = \frac{(10)^{10}}{471\ \mu} - 9017 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

В соответствии с этой формулой (8) рассчитаны значения μ, приведенные в четвертой колонке нижеследующей таблицы.

Эта формула неприменима в случае, когда R < 15 000[кг], но это случай, который нас не интересует.

R – давление в килограммах на квадратный метр, а p – то же давление на квадратный сантиметр; очевидно,

$$R = 10\,000\ p$$

С помощью вышеприведенных формул можно легко составить следующую таблицу.

Значения p в килограммах на квадратный метр	Температура на градусах термометра по Цельсию	Значения μ рассчитанные по формуле (7)	начения μ рассчитанные по формуле (8)	Значения p в килограммах на квадратный метр	Температура на градусах термометра по Цельсию	Значения μ рассчитанные по формуле (7)	начения μ рассчитанные по формуле (8)
1 000	45°,9	15 019		41 000	144°,6	479	482
2 000	59°,6	7 831		42 000	145°,3	468	471
3 000	68°,4	5 356		43 000	146°,1	459	461
4 000	75°,1	4 097	Формула (8), приведенная Памбуром, неприменима для давления ниже 1500 К. Ее следует изменить (см. Памбур)	44 000	147°,0	449	451
5 000	80°,5	3 329		45 000	147°,8	440	442
6 000	85°,2	2 810		46 000	148°,7	431	433
7 000	89°,2	2 435		47 000	149°,5	423	424
8 000	92°,8	2 152		48 000	150°,3	415	416
9 000	94°,4	1 921		49 000	151°,1	407	408
10 000	99°,0	1 751		50 000	151°,8	400	400
11 000	101°,8	1 604		51 000	152°,6	393	393
12 000	104°,4	1 480		52 000	153°,3	386	386
13 000	106°,7	1 375		53 000	154°,1	379	379
14 000	109°,0	1 284		54 000	154°,8	373	372
15 000	111°,1	1 205	1 178	55 000	155°,5	366	366
16 000	113°,0	1 135	1 116	56 000	156°,2	360	360
17 000	114°,9	1 074	1 060	57 000	156°,9	355	354
18 000	116°,7	1 019	1 010	58 000	157°,6	349	348
19 000	118°,4	969	964	59 000	158°,3	344	342
20 000	120°,1	925	922	60 000	158°,9	339	337

21 000	121°,7	884	884	61 000	159°,6	334	332
22 000	123°,2	847	848	62 000	160°,3	329	327
23 000	124°,6	813	816	63 000	160°,9	324	322
24 000	126°,1	782	785	64 000	161°,5	319	317
25 000	127°,4	754	757	65 000	162°,1	315	312
26 000	128°,7	727	731	66 000	162°,8	311	308
27 000	130°,0	702	707	67 000	163°,4	306	303
28 000	131°,2	679	684	68 000	164°,0	302	299
29 000	132°,4	658	663	69 000	164°,6	298	295
30 000	133°,6	638	643	70 000	165°,2	294	291
31 000	134°,7	619	624	71 000	165°,7	290	287
32 000	135°,8	601	606	72 000	166°,3	287	283
33 000	136°,9	584	589	73 000	166°,9	283	279
34 000	137°,9	569	579	74 000	167°,5	280	276
35 000	138°,9	554	558	75 000	168°,0	277	272
36 000	139°,9	540	544	76 000	168°,6	273	269
37 000	140°,9	526	530	77 000	169°,1	270	265
38 000	141°,8	514	517	78 000	169°,7	267	262
39 000	142°,8	502	505	79 000	170°,2	264	259
40 000	143°,7	490	493	80 000	170°,7	261	256
"				85 000	173°,3	247	241
"				90 000	175°,7	234	228
"				95 000	178°,1	223	216
"				100 000	180°,3	213	206

Полезно еще раз напомнить, что такое скрытая теплота, или теплота, поглощаемая при переходе воды из жидкого состояния в газообразное.

Называя калорией количество тепла, необходимое для повышения температуры одного килограмма воды на один градус Цельсия, следует помнить, что для перевода одного килограмма воды из жидкого состояния в газообразное поглощается 550 калорий, которые не проявляются на термометре и, одним словом, составляют скрытую теплоту.

Отсюда понятно (и таблица, которую мы только что привели, это доказывает), почему не требуется намного больше тепла для повышения давления пара до высокого, чем до среднего или даже низкого. Следует также учитывать, что полное давление в локомотивах всегда должно быть уменьшено на атмосферное давление, т.е. на 10 000, чтобы получить эффективное давление машины; и что это постоянное уменьшение, независимо от давления, тем заметнее, чем давление ниже.

Так, если мы хотим иметь эффективное давление 20 000 в машине, нужно иметь полное давление 30 000 и, следовательно, создать температуру, которая согласно нашей таблице составляет 133°C; для эффективного давления вдвое больше первого, или 40 000, потребуется полное давление 50 000 и температура 151°C, т.е. на килограмм испаренной воды потребуется в первом случае 133 + 550 = 683 калории, а во втором случае 151 + 550 = 701 калория.

Отсюда понятно, почему и насколько важно использовать пар высокого давления; но так как согласно теории, которую мы только что изложили, давление водяного пара в цилиндре зависит от нагрузки, которую машина призвана тянуть, то на современных машинах часто приходится волей-неволей использовать пар только низкого давления, и это ведет к реальной потере силы или топлива.

Так, на линии Корбей, как мы видели на нашей первой лекции, согласно нашим формулам давление составляет 32 542 для состава из 10 вагонов, а для меньшего состава оно ниже трех атмосфер.

Изобретение машин с постоянным расширением (детандеров), которые начинают применяться в Англии, Бельгии и Франции, в значительной степени устраняет этот недостаток: пар тогда может действовать с более высоким давлением.

В машинах, построенных по этой системе, ход поршня под непосредственным действием пара составляет $\frac{65}{100^e}$ или $\frac{75}{100}$ полного хода, движение завершается за счет расширения; но эти машины, в свою очередь, имеют недостаток, заключающийся в невозможности тянуть такие же тяжелые составы, как первые, при условии, что ни в тех, ни в других никогда не превышается максимальное давление 50 000.

Недостаток, который мы отметили, впрочем, полностью не устраняется и этой системой, так как вынуждены уменьшать напряжение пара для слабых усилий, и если, например, на пути есть подъем в 5 мм, нужно устроить так, чтобы машина могла подняться на него с полным давлением 50 000, а затем смириться с движением на остальной части пути с меньшим давлением. Машина с переменным расширением была бы истинным решением проблемы, так как она позволила бы всегда использовать пар в 5 атмосфер; механизм заставлял бы пар поступать на поршень только в течение ⅘, ¾, ⅔ хода, когда подъемы были бы меньше, и, увеличивая таким образом расширение, по мере того как подъем становится более пологим, он устроил бы так, чтобы всегда использовать пар в 5 атмосфер. Машины такого рода в настоящее время строятся в Англии у г-на Стефенсона, некоторые были изготовлены во Франции г-ном Мейером и использовались на дороге из Базеля в Страсбург.

Наконец, скажем несколько слов о различных видах топлива, которые можно использовать на железных дорогах.

Теплотворной способностью топлива называется количество тепла, которое оно способно выделить.

Калорией называется количество тепла, необходимое для повышения температуры одного килограмма воды на один градус Цельсия.

Один килограмм кокса может выделить . . . . . 7000 калорий.

. . . . . каменного угля . . . . . 6440 . . . . . .

. . . . . древесного угля . . . . . 6000 . . . . . .

. . . . . высушенного на воздухе дерева . . . . . 2945 . . . . . .

. . . . . торфа . . . . . 1500 . . . . . .

Сразу видно, что торф дает недостаточно тепла. Высушенное дерево использовалось на некоторых немецких железных дорогах, где оно было очень дешево; но, помимо недостатка малой теплоотдачи, оно производило искры, которые могли привести к несчастным случаям.

Древесный уголь дорог и маловыгоден в применении.

Наконец, кокс предпочитают каменному углю, потому что он дает больше тепла и потому что каменный уголь производит неприятный запах и сернистые газы, портящие машину.

В любом случае лучшие топки используют только 0,50–0,60 выделяемого тепла.

Согласно приведенной теплотворной способности кокса и, принимая половину ее согласно предыдущему замечанию, можно было бы найти, что один килограмм кокса может испарить 5,38 кг воды; на машинах получают от 5,6 до 7 кг; но следует заметить, что потребленная вода, измеряемая в тендере, больше, чем испаренная, как было сказано ранее.

Все приведенные выше детали о локомотивах извлечены из труда г-на Памбура Traité théorique et pratique des machines locomotives (Теоретический и практический трактат о локомотивах).

По вопросам конструкции, содержания и управления локомотивами можно обратиться к труду г-д Флаша и Петье Guide du mécanicien conducteur de machines locomotives (Руководство для машиниста локомотива).

Описание работ на железной дороге Париж – Орлеан

Путь – это особая часть железной дороги. Сегодня он устроен почти единообразно.

Путь состоит из двух железных частей, называемых рельсами, уложенных и закрепленных на чугунных опорах, которые без различия называют подушками, башмаками, опорами или стульями. Башмаки закреплены на поперечных деревянных брусьях (шпалах), расположенных на расстоянии около 1 м друг от друга и опирающихся на земляное полотно дороги через слой песка или щебня (балласта), который предотвращает проседание шпалы, когда под действием влажности грунт становится мягким и малопрочным. Балласт имеет также преимущество, полностью обволакивая шпалу, удерживая ее во всех направлениях и способствуя тем самым, с одной стороны, ее сохранности, а с другой – прочности пути.

Слои балласта имеют толщину от 0,45 до 0,50 м. Для хорошей установки шпал выгодно формировать их из песка. Желательно, чтобы песок не был слишком глинистым, т.е. смешан с большим количеством земли, потому что тогда шпалы были бы почти как просто положенные на грунт, и балласт не давал бы шпале той прочной

основы, которую он предназначен ей обеспечить. Также нехорошо, чтобы песок был совершенно чистым, потому что в этом состоянии зерна слишком легко перекатываются друг по другу, и, следовательно, слой не дает достаточно прочной и устойчивой основы.

Когда песок слишком дорог, его заменяют щебнем, но шпалы на таком балласте укладываются не так хорошо, как на песке. Щебень имеет единственное преимущество – быстрый отвод воды; его недостаток в том, что при просадке он не так хорошо, как песок, поддается подбивке шпал.

Самая важная часть пути – рельс, его форма варьируется на каждой дороге. Рельс должен иметь достаточную поверхность катания, чтобы колесо не изнашивалось; ширина этой поверхности для дороги Орлеан принята средней 0,055 м. Рельс должен иметь определенную высоту, чтобы не прогибаться между двумя опорами под нагрузкой колеса. Известно, что для этого наилучшая форма поперечного сечения – двутавр (double T) или «двойной гриб». За некоторыми исключениями в размерах, эта форма сегодня кажется общепринятой. Однако на железной дороге Париж – Версаль (левый берег) была принята форма, показанная на рисунке (2). Легко видеть, что рельсы первой формы можно переворачивать, всегда имея одну и ту же поверхность катания и то же основание, в то время как рельсы второй формы могут использоваться только одной стороной; они также имеют преимущество, опираясь в подушке на широкое основание, что способствует хорошей устойчивости.

Рельсы двутавровой формы были использованы на железной дороге Париж – Версаль (правый берег), но с поверхностью катания 0,06 м; выступание верхней части над средней показалось нам слишком большим и способным ускорить износ рельса по двум его граням; такова причина, по которой на дороге Орлеан поверхность уменьшили до 0,055 м и увеличили толщину в середине.

Рельс, как его использовали раньше, обычно имеет плоскую поверхность. С недавнего времени ему придают легкую выпуклость, эффект которой заключается в переносе давления колеса на центр рельса; это замедляет его износ. Кроме того, блестящая линия, которую трение оставляет на рельсе, становится почти непрерывной, тогда как на плоских рельсах эта линия появляется то с одной, то с др ; угой стороны. Ход состава кажется более плавным при выпуклости.

Стрела выпуклости составляет . . . . . 0,0014 м.

Радиус выпуклой поверхности . . . . . 0,1647 м.

Хорда – около . . . . . 0,045 м.

Высота рельса (не считая двух выпуклостей) . . . . 0,11 м.

Вес рельсов постоянно увеличивался; достигли 30 кг – это вес, который мы приняли; в Англии он уже превышен; на дороге Руана он составляет 35 кг.

Цена рельса на заводе колеблется от 30 до 33 франков за 100 кг; но транспортировка на строительные площадки сильно увеличивает цену. Для дороги Орлеан железо в значительной части брали в Деказвиле; оно шло через Бордо и Нант. Брали также из

Але; оно спускалось по Рону, огибало Испанию, чтобы прийти в Нант, затем по Луаре до Орлеана. Эти дальние перевозки доводят цену 100 кг до 39 и 40 франков. Наконец, часть рельсов взяли на Крезо.

Рельсы укладываются встык. Для этого нужно, чтобы они были хорошо обрезаны под прямым углом, головки были чистыми от заусенцев и обработаны зубилом и напильником; потому что применение молотка изменило бы форму поперечного сечения. Каждая часть должна быть обработана с двух сторон на достаточном расстоянии от смятых концов, чтобы оба конца были совершенно здоровыми.

Важно, чтобы рельсы были хорошо изготовлены еще на заводе; чтобы избежать холодной обработки на стройплощадке, что привело бы к очень дорогой ручной работе.

Длина рельса – 4,50 м. Допускается отклонение на 0,04 м в меньшую сторону для небольшого количества, укладываемого на кривых.

Железо должно быть хорошего качества. Под этим не подразумевается, что оно обладает теми же свойствами, что и железо, используемое, например, в висячих мостах. Ему не нужна, очевидно, большая ковкость, но оно должно быть твердым, плотным, не хрупким на холоде, прекрасно сваренным, без полос, трещин и, по возможности, без дефектов.

Перед использованием рельс подвергается испытанию, которое заключается в укладке его на две опоры шириной 0,08 м, расположенные на расстоянии 1,25 м друг от друга, и нагружении посередине грузом в 10 000 кг. После испытания он не должен сохранять деформации.

Подушки (костыли) изготавливаются из чугуна первой или второй плавки; их различают на стыковые и промежуточные. Первые имеют ширину 0,14 м, вторые – 0,10 м.

Их вес:

для стыковой подушки . . . . . 12,80 кг.

для промежуточной подушки . . . . . 9,20 кг.

Контакт рельса со щеками или опорной поверхностью подушки должен быть точным по всей площади соприкосновения.

Чугун должен быть мягким и податливым напильнику, с плотным и однородным зерном, без дефектов 281 х 6.

Поверхности должны быть чистыми, края обрезаны, литники и швы обработаны напильником.

Цена, включая перевозку, для чугуна первой плавки колеблется от 30 до 32 франков за 100 кг. Можно было бы получить снижение с чугуном второй плавки, но, возможно, за счет меньшей прочности и большего риска поломок.

Подушки крепятся к шпалам с помощью железных шпилек длиной 0,14 м (не считая головки) и диаметром 0,018 м. Головка имеет диаметр 0,024 м и толщину 0,0113 м; одна шпилька весит от 27 до 30 граммов.

Шпильки должны быть из железа высшего качества, мягкого и неломкого. Головка должна быть откована из той же массы, а не приварена, потому что из-за толчков, которым подвергаются шпалы, она легко отлетит. Хорошие шпильки не должны ломаться при испытании на изгиб на 45°. Цена 100 кг от 60 до 65 франков.

Чтобы удержать рельс в подушке и обеспечить очень плотный контакт между боковой поверхностью рельса и щекой подушки, в зазор, оставленный для введения рельса в подушку, забивают молотком деревянный клин.

Клинья изготавливаются из дуба, хорошо высушенного, здорового, без заболони.

Клинья для стыковых подушек имеют длину . . . . . 0,30 м.

для промежуточных подушек . . . . . 0,25 м.

Их изготавливают на станке с большой точностью. Один клин стоит примерно 0,20 франка; он слегка конический; должен прилегать по всей длине подушки.

Шпалы изготавливаются из дуба хорошего качества, грубо отесанного. Следует по возможности избегать использования белой древесины, потому что она легко гниет и не удерживает шпильку с достаточной силой. Однако, если в данной местности дуб слишком дорог, а, например, сосна стоит недорого, можно использовать последнюю. В подобных обстоятельствах было бы важно знать способы придания древесине определенной твердости и обеспечения ей некоторого срока службы. В Англии, во Франции есть такие способы; способ Бушери кажется очень хорошим, но еще не получил широкого применения.

Типовая стыковая шпала имеет:

длину 2,45 м; ширину 0,30 м и толщину 0,15 м, объем 0,11 м^3.

Типовая промежуточная шпала имеет:

длину 2,45 м; ширину 0,25 м и толщину 0,15 м, объем 0,09 м^3.

Допускаются отклонения:

По длине: на 0,25 м в большую или меньшую сторону.

По ширине: на 2 см в большую и 7 см в меньшую сторону для промежуточных шпал; для стыковых шпал на 10 см в большую и ничего в меньшую.

По толщине: на 2 см в большую или меньшую сторону.

Общий средний объем всей поставки не должен быть превышен, чтобы подрядчик не мог уйти в завышенный объем.

Древесина для шпал железной дороги Орлеан была доставлена частично в порты на Сене между Парижем и Корбеем и в порт на Луаре в Орлеане по цене 73 франка; к этому нужно добавить 10 франков за перевозку на стройплощадки, распиловку и пригонку

подушек на кубический метр, что составляет 83 франка за кубометр; в Париже заплатили немного дороже для линии Корбей.

Цены на пригонку подушек и другие ручные работы по укладке имеют тенденцию к снижению по мере того, как рабочие становятся более опытными и искусными в различных работах.

Пригонка подушек. — Эта операция является основой хорошего пути; она должна выполняться тщательно и точно.

Опоры должны устанавливаться с помощью шаблона, точно на нужном расстоянии и с нужным наклоном на одной линии.

Поверхность, на которую опирается опора, должна быть совершенно здоровой, без заболони, и хорошо выровнена, чтобы опора опиралась всей своей площадью. Подушкам придают наклон 1/20, чтобы возвращать вагоны к центру колеи. Следует по возможности избегать врубок и иметь чистую поверхность, где вода не могла бы застаиваться.

Шпильки должны устанавливаться с осторожностью. Отверстие под них просверливается буравом так, чтобы они входили туго, однако не слишком сильно, чтобы не расколоть дерево. По этой же причине их острие должно быть перпендикулярно направлению волокон древесины.

Укладка пути. Раньше давали только 1,44 м ширины между внутренними краями рельсов одного пути. Это расстояние, равное расстоянию между ребордами колес, было недостаточным на кривых, где эту ширину приходилось увеличивать, и тем больше, чем меньше радиус кривой. Избавились от неудобства иметь разные шаблоны и значительное трение, приняв единообразное расстояние 1,45 м.

В местах смены путей важно сузить пути до точной ширины реборд вагонов (1,44 м).

На кривых наружный рельс (с большим радиусом) приподнимают, чтобы противодействовать и уменьшать усилия центробежной силы весом вагонов.

Возвышение составляет:

10 мм для кривых радиусом от 1000 до 1200 м.

8 . . . . . 1500 м.

4 . . . . . 2000 м.

3 . . . . . 3000 м.

2 . . . . . 6000 м.

Укладка шпал. Шпалы всегда должны укладываться перпендикулярно оси пути. Существовали различные системы их расстановки. На дороге Сен-Жермен они расположены через 1,125 м, что дает три промежуточные опоры. При таком расположении, если концы недостаточно поддерживаются, они могут прогибаться и создавать консольные нагрузки, которые проявляются при прохождении состава в виде выброса воды или песка. На дороге Орлеан предпочли принять, особенно на плохих грунтах, промежуточные шпалы с шагом 1 м, что дает 0,75 м для концов участка рельса.

Только экономия заставила применить на выемках 9 промежуточных опор с шагом 1,25 м, что дает 1 м для концевых участков. Для расширения нужно оставлять небольшой зазор между двумя последовательными частями. 9 мм достаточно при работе при температуре 10–15°C.

На кривых важно иметь более короткие рельсы для линии со стороны вогнутости. Им дают на 2 или 3 см меньше и вставляют их между рельсами длиной 4,50 м. Когда кривые имеют малый радиус, рельсы нужно гнуть перед укладкой; но при радиусе 1000 м и выше это бесполезно, клиньев достаточно, чтобы придать им нужный легкий изгиб. При установке шпал не следует ударять по ним слишком сильно, чтобы избежать вырывания шпилек; подбивая песок снизу английскими кирками, достигают желаемой прочности. Чтобы убедиться, что шпала хорошо уплотнена, вынимают клин из рельса и смотрят, не оседает ли шпала, изолированная таким образом (т.е. не поддерживаемая и не удерживаемая рельсом).

О балласте. Рис. 3, 4, 5 и 6 показывают профили, принятые в случае песчаного или щебеночного балласта, в двух ситуациях: выемка и насыпь. Выпуклость поверхностей между железнодорожными путями имеет целью не отвод воды под рельсы (балласт слишком водопроницаем для этого), а создание небольшого избытка материалов в качестве запаса.

При обслуживании необходимо постоянно поднимать и ремонтировать путь, как только появляется деформация, чтобы избежать больших ремонтов, всегда дорогих и опасных для подвижного состава.

Для сохранности шпалы и даже клинья всегда должны быть покрыты песком.

Когда подбивают песок под шпалы, нужно следить, чтобы они были прочно уплотнены под подушками и на обоих концах, а не в середине.

Клинья должны забиваться осторожно и без усилия, чтобы не расколоть или не разбить края подушки.

Цена одного погонного метра пути.

В расходах на строительство железнодорожного пути есть примерно постоянная часть, которую мы оценим. Это та часть, которая касается укладки рельсов на должным образом подготовленное земляное полотно.

Поставка материалов:

Шпалы на погонный метр имеют объем 0,10 м^3; оценивая кубометр в 83 франка, включая расходы на пригонку подушек, получаем 8,50 фр.

60 кг рельсов по 0,3886 фр./кг дают на погонный метр . . . 23,30 фр.

20,66 кг чугуна для подушек по 0,30555 фр./кг . . . . . 6,30 фр.

1,14 кг шпилек по 0,60 фр./кг . . . . . 0,90 фр.

2 деревянных клина . . . . . 0,42 фр.

Итого . . . . . **39,05 фр.**

на поставку материалов для 1 погонного метра пути.

Приведенные выше цены – это средние цены дороги Орлеан.

Рабочая сила:

Транспортировка 200 кг материалов (необходимых для изготовления 1 погонного метра пути) из портов Луары и Сены на притрассовые склады, при среднем расстоянии около 10 км, учитывая плохие дороги, обошлась в . . . . . 2,00 фр.
Укладка пути и транспортировка вагонами со складов к месту укладки требуют . . . . . 1,65 фр.

Чтобы завершить эти расходы, нужно добавить на аренду площадок, расходы по приемке материалов, надзор за работами, временную укладку, подъемку пути в первые месяцы после укладки и во время временных перевозок . . . . . 2,30 фр.

Общий итог . . . . . **45,00 фр.**

Что составляет на *километр* двойного пути . . . . . **90 000 фр.**

Цена балласта.

Цена песка очень переменчива; она колеблется от 2 до 8 франков, а иногда и до 10 франков.

Принимая в среднем 5 франков за песок или щебень, и считая 4 м³ этих материалов на погонный метр с учетом подъемок, которые становятся необходимыми в начале эксплуатации, можно принять . . . . . 90 + 20 = 110 фр.
за цену погонного метра двойного пути.

Но, кроме того, есть служебные пути для разъездных путей, для парков вспомогательных локомотивов, для конечных станций, для мастерских и депо, для товарных станций; оценивая их в 1/20 от длины, что составляет на погонный метр . . . . . 6,00 фр.
получаем . . . . . **116,00 фр.**
за цену погонного метра пути.

В смете для Северной дороги принимают цифру 125,00 фр.

Основываясь на опыте английских дорог и учитывая разницу в ценах на рабочую силу и сырье, которая может существовать во Франции и Англии, если немного увеличить вес рельсов, прочность подушек, размеры шпал, легко можно прийти к этой цифре; можно считать, что цена погонного метра двойного пути с балластом составит от 115 до 125 франков. От этих пределов отклонятся только в исключительных обстоятельствах.

5-я Лекция.

Одно замечание по устройству пути: шпалы выступают примерно на 0,75 м с каждой стороны наружу пути, что на первый взгляд может показаться излишним; но это расположение во многом способствует прочности дороги, расширяя основание, на котором покоится путь. Толщина шпалы должна быть достаточной, чтобы шпилька была полностью погружена в дерево и не выступала на нижнюю поверхность шпалы. Также необходимо, чтобы толщины шпалы было достаточно для противодействия изгибу; но если первое условие выполнено, второе обычно также соблюдено.

На любой железнодорожной линии следует требовать, чтобы составы, идущие в одном направлении, всегда оставались на одном и том же пути, а идущие в противоположном направлении двигались по другому пути. Однако всегда приходится через определенные расстояния устраивать соединения между двумя путями; эти соединения, кроме того, необходимы на обоих концах дороги.

Мы поговорим здесь о различных способах, используемых для устройства этих соединений.

Поворотная платформа служит для перевода локомотива или любого вагона с одного пути на другой, пересекающийся под любым углом. Это устройство состоит из круглой чугунной плиты, на которой с помощью болтов с потайными головками закреплены рельсы. Иногда эти рельсы составляют одно целое с плитой и тогда они чугунные, но это имеет недостаток: плита сильно страдает, если рельсы ломаются.

Эта плита опирается в центре на шкворень, вокруг которого она вращается. рис. (7).

Помимо этого шкворня, имеются ролики, расположенные на некотором расстоянии от центра и на которые опирается своего рода круговой рельс, прикрепленный снизу плиты; эти ролики, в свою очередь, вращаются на чугунном круговом пути.

Когда рельсы платформы установлены напротив рельсов пути, на котором находится вагон, последний загоняют на платформу, а затем поворачивают всю систему до тех пор, пока вагон не окажется напротив пути, на который его нужно направить. Затем остается только толкнуть его, чтобы вытолкнуть с платформы. Видно, что для этой операции достаточно было бы иметь на платформе одну линию рельсов, но операции ускоряются, если разместить две линии рельсов под прямым углом. В самом деле, если нужно сменить путь для целого состава, то после обработки одного вагона не нужно возвращать платформу в исходное положение; вторые рельсы окажутся в нужном положении для приема второго вагона. Ясно, что это имеет место только тогда, когда два пути пересекаются под прямым углом.

При установке двух систем рельсов их приходится прерывать в месте пересечения, чтобы пропустить реборды колес; оставляют зазор 0,05 м.

Вокруг поворотной платформы имеется небольшая круговая стенка. Раньше ее делали каменной; но удары, вызванные резкой остановкой платформы при закрывании

защелки, предназначенной для удержания ее в нужном положении, эти удары раскалывали камни. Ее заменили небольшой стенкой из цилиндрической чугунной плиты.

Существуют поворотные платформы для локомотивов и другие для вагонов, дилижансов и т.д. Первые крупнее.

Они имеют диаметр 4,20 м. Вторые имеют всего 3,40 м.

Чугунная плита не сплошная, она пустотелая в частях, не несущих нагрузки. Эти пустоты закрываются очень тонкими чугунными плитами, или деревянными настилами, покрытыми сверху листовым железом, или просто досками. Чугун или листовое железо необходимы для платформ, обслуживающих локомотивы, потому что падающий огонь мог бы сжечь дерево.

Поворотные платформы для локомотивов с их решетками, окружающим кожухом, тележкой и собственно плитой, содержащие 9000 кг чугуна и 700 кг кованого железа, стоят, доставленные и установленные на месте, от 6000 до 6500 франков; платформы для вагонов требуют 4000–5000 кг чугуна и стоят от 3000 до 4000 франков.

Платформы необходимы для погрузки почтовых карет, лошадей и вообще всего, что не может быть погружено сбоку. Платформы располагают у довольно высокой стенки над путем, чтобы почтовые кареты оказывались на уровне платформы, на которую их грузят.

Платформа имеет недостатки: если нужно перевести целый состав с одного пути на другой, операцию приходится повторять много раз, и это занимает много времени.

Поэтому пришлось прибегнуть к другой системе и использовать переход (смену пути). Он состоит из криволинейной части пути AB, которая идет от одного из двух путей, которые нужно соединить, к другому, образуя с обоими очень острый угол. Радиусы этих кривых составляют 400 или 500 м, и по ним обычно движутся с малой скоростью.

В точках A и B необходимо иметь устройство, которое позволяло бы составу либо продолжать путь по тому же пути, либо переходить на другой. Это достигается с помощью подвижных остряков (стрелок).

Вот система, используемая обычно. рис. (8). Части рельсов EF и GH подвижны вокруг центров E и G. Когда состав прибывает в B, он пойдет по направлению BB' или BB'' в зависимости от того, находятся ли остряки в положении EF, GH или в положении EF', GH'. Чтобы понять это, достаточно рассмотреть рисунок. Для установки остряков в нужное положение их можно закрепить на поперечине, которую приводят в движение с помощью рукоятки.

Существуют детальные системы, одни удобнее других. Они всегда построены по тому же принципу; противовес P на наклонном рычаге заставляет остряки оставаться в положении EF . GH на главном пути, так что состав, идущий из B, всегда следует по пути BB''. Если состав идет в направлении $B''B$, он находит путь свободным, а если он идет по

направлению *B′B*, он заставит остряки открыться, чтобы пропустить его, и после его прохождения остряки вернутся в свое положение.

Таким образом, путь удобен и может использоваться для движения как в направлении *BB″* или *B″B*, так и между *B′B*; только для движения по линии *BB′* необходим стрелочник; можно устроить так, чтобы в этом направлении приходилось двигаться редко.

Когда два пути пересекаются, приходится располагать рельсы особым образом. На прилагаемом рисунке рис. (9) все рельсы, показанные черным, принадлежат одному пути, а остальные – второму. Части *a a′ b b′* называются контррельсами.

Контррельс *a a′* препятствует тому, чтобы правое колесо вагона, идущего в направлении cd по черному пути, не попало в промежуток *e f*. Когда рельсы расположены так близко, их крепят на одну подушку.

На длинной линии необходимо скомбинировать расположение этих переходов так, чтобы обслуживать все и сделать их как можно более редкими. На дороге Орлеан есть переход примерно на каждой промежуточной станции, чтобы через определенные расстояния установить сообщение между путем туда и путем обратно. Правила требуют, чтобы вагоны, идущие по одному пути, двигались все в одном направлении. Однако это не всегда возможно; в самом деле, можно представить, что если состав вынужден остановиться на пути *AC*, рис. (10), и вызывает на помощь локомотив, идущий в направлении *DB*, последний будет вынужден сначала проследовать за *B*, чтобы определить, в какой точке находится аварийный состав, а затем вернуться, чтобы сменить путь в *B*; таким образом, он пойдет по пути *DB* в обратном направлении.

Локомотивы, обслуживающие дорогу Орлеан, будут ходить только до Этамп, и между Парижем и Этампом будет депо; так что локомотивы будут находиться через каждые восемь льё.

Эти депо для локомотива состоят из навеса *A*, соединенного с главным путем ответвлением *AB*, на котором находится поворотная платформа *C*. Эта поворотная платформа позволяет располагать локомотивы так, чтобы они могли двигаться в обоих направлениях. Также есть гидравлический кран, который служит для заправки машин водой. Этот гидравлический кран – это просто труба, соединенная с резервуаром с водой и подающая воду над тендером машины. Здесь уместно заметить, что важно всегда иметь воду хорошего качества. Есть воды, которые отлагают много известковых солей, быстро портящих машины.

На промежуточных станциях необходимо иметь платформы (тротуары), чтобы пассажиры могли спокойно садиться в вагоны и выходить из них. На некоторых дорогах эти платформы сделали подобными тем, что на главных вокзалах, т.е. на высоте одного метра над землей, чтобы можно было входить в вагон прямо с платформы вровень; но так как устройство таких платформ стоит довольно дорого, им придают длину только одного состава. Это расположение ведет к потере времени, потому что машинист, не

будучи в состоянии точно остановить состав в тот момент, когда он окажется перед платформой, вынужден подходить к ней последовательными колебаниями или же замедлять скорость задолго до станции. На дороге Орлеан заменили платформы своего рода скамьями высотой 0,25–0,30 м, которые, обходясь дешевле, могут иметь большую длину и, как нам кажется, достаточны для всех нужд пассажиров.

Именно на подходах и внутри конечных вокзалов важно хорошо организовать пути и переходы. Вот расположение, принятое на вокзале в Париже, который является началом дороги Орлеан.

Заметим сначала, что состав состоит из трех видов вагонов, которые размещаются в порядке, который мы укажем:

1. Вагоны, груженые товарами и багажом, объединяемые под названием "предметы курьерской службы".

2. Дилижансы и вагоны, перевозящие пассажиров.

3. Почтовые кареты, которые помещаются на специальные маленькие тележки.

При отправлении, когда состав находится в *DD′*, рис. (11), багажные вагоны находятся, таким образом, у конца *D′*; и позаботились разместить у этого конца здания *M* залы, где складируются предметы курьерской службы. Вагоны, предназначенные для их приема, находятся, следовательно, напротив складов, где они хранятся. Позади находятся пассажирские вагоны, также напротив залов, где ожидают пассажиры. Наконец, еще позади располагаются почтовые кареты, которые грузятся на поворотные платформы *P*. Все таким образом удобно расположено для обслуживания.

По прибытии состав находится в *AA′*; предметы курьерской службы транспортируются в залы, где они должны быть досмотрены таможенниками; пассажиры легко проходят во двор *C*, где стоят экипажи; а почтовые кареты, идущие к концу *A*, доставляются к платформам *Q*, где их разгружают.

Участки пути *RR′* служат для соединения вагонов. Поворотные платформы обеспечивают сообщение между всеми этими путями, чтобы облегчить обслуживание.

Ремонтные мастерские находятся в 1200 м от вокзала в *N*; необходимо было установить сообщение между вокзалом и этими мастерскими: такова цель пути *EE′*. Видно, что он пересекает в *Q* путь прибытия: это неудобство; приходится заботиться о том, чтобы пересекать этот путь прибытия только тогда, когда нет состава на виду.

6-я Лекция.

О земляных работах.

Мы рассмотрим здесь только вопросы, непосредственно связанные со строительством железных дорог. Одна забота, которую нельзя слишком рекомендовать на железных дорогах, – это осушать путь как можно тщательнее. Размягченные и пропитанные влагой грунты допускают проседание шпал, которое при проходе локомотива может вызвать серьезные аварии. Вода, просачивающаяся в землю, также способствует осадкам и оползням. В теплое время года, когда земля хорошо просыхает, приходится очень мало поднимать путь; наоборот, после почти каждого дождя, особенно в начале эксплуатации.

Понятно тогда, как важно не пренебрегать ничем для совершенного осушения пути. В этом – безопасность дороги и спокойствие пассажиров.

О верхней поверхности грунта в насыпи.

Откосы имеют заложение 1,5 основания на 1 высоты. рис. (12).

Верхняя поверхность грунта, на которой покоится балласт, имеет выпуклую форму (круговую) и хорошо выровнена и заглажена, чтобы облегчить сток вод, прошедших через балласт.

Балласт уложен и выровнен, как было сказано в предыдущей лекции. С каждой стороны пути имеется небольшая берма (банкет), оставленная для прохода путевых рабочих. Эта берма имеет главной целью, при раскрытии пути для подъема шпал, предотвратить сползание материалов (песка и камней), входящих в балласт, на откосы, где они теряются и вредят растительности.

Эти маленькие бермы имеют ширину 0,50 м, когда балласт песчаный, и от 0,75 до 0,85 м, когда балласт щебеночный. В последнем случае откосы балласта заменяются небольшими стенками из сухой кладки.

Эти бермы также дают экономию на цене балласта, уменьшая количество материалов, используемых при его устройстве; они способствуют быстрому отводу вод и, следовательно, осушению пути.

Случай выемки рис. (13). Верх грунта устроен так же, как и для профиля насыпи, с выпуклостью, т.е. в середине дороги грунт находится на 0,45 м ниже уровня рельса, а у края пути – на 0,55 м. С каждой стороны пути имеются канавы глубиной 0,75 м. Эти канавы необходимы для осушения.

Небольшие бермы шириной 0,90 м, предназначенные для прохода рабочих и для приема небольших осыпей с откосов выемки, расположены между канавами и подошвой откосов.

Откосы насыпи выполняются с соотношением один к одному (1:1). Для песчаного балласта откосы практически не держатся при уклоне один к одному; они оплывают и несколько уменьшают ширину обочин.

Небольшие стенки из сухой кладки, удерживающие балласт, позволяют расширить либо ось, либо дно канавы, либо выположить внешние откосы. Необходимо принимать меры предосторожности, чтобы не повредить верхнюю поверхность грунта, подготовленную и выровненную с выпуклостью, как сказано выше, при укладке песка на путь. В выемке, где есть скалы или крупные камни, следует избегать оставлять их на поверхности; необходимо даже позаботиться об удалении их на глубину до 0,80 м ниже уровня рельсов, чтобы избежать всякого неравномерного опирания шпал.

Таковы общие профили выемок и насыпей. Но есть случаи, когда их необходимо изменять.

Так, в случае насыпи иногда придают откосу заложение 1,75 или даже 2, когда грунты очень текучие или когда есть избыток грунта.

Машины, проходя по высоким насыпям, иногда сообщают им сильную вибрацию, которая стремится вызвать просадки вследствие деформаций, иногда доходящих до обрушения грунта. Эти обрушения особенно опасны, когда насыпи глинистые. Поэтому следует по возможности избегать насыпей из чистой глины; нужно смешивать глину с обычной землей или другим материалом, чтобы избежать поверхностей скольжения, которые образуются в глинистых насыпях и могут привести к очень серьезным оползням.

Очень желательно устраивать небольшую берму у подошвы насыпей, когда опасаются оползней; почти всегда оползни начинаются от подошвы; и берма хорошо укрепляет откос.

Когда подошва насыпи может подмываться водой, например, при паводках реки, эта берма служит защитой откоса и должна располагаться немного выше предполагаемого уровня воды при паводке. Железная дорога Корбей, у входа в долину Орж и между Парижем и Корбеем, дает примеры применения вышесказанного.

В случае выемки иногда придают откосу (но как можно реже) заложение 1,5. Иногда даже, в очень плохих грунтах, доходят до заложения 2. Определять эти исключительные случаи – дело инженера.

Когда выемки получают в своей нижней части большое количество воды, следует дать каждому из боковых канав, предназначенных для осушения пути, глубину в один метр ниже рельса вместо 0,75 м. В этом случае, чтобы не слишком расширять дно выемки, что может привести к очень значительным и дорогостоящим земляным работам, когда выемка глубокая, следует устроить вдоль канав стены из сухой кладки; или, если вынуждены для большей прочности делать стены каменной кладкой, нужно позаботиться о том, чтобы пробить в этой кладке многочисленные дренажные отверстия (барбаканы).

Когда грунт плохой, будь то в выемке или в насыпи, т.е. когда он по своей природе легко размягчается от присутствия воды, полезно увеличить толщину слоя балласта, на котором лежат шпалы, на 0,10–0,15 м.

Когда балласт состоит из несколько глинистого или жирного песка, неспособного фильтровать воду и естественно высыхать, внутри балласта устраивают камни, которые способствуют отводу вод и циркуляции воздуха, и, следовательно, осушению песка.

О способах укрепления откосов.

Способы укрепления откосов:

1° Выполаживание, как уже говорилось. Этот прием был необходим в случае глин, которые сползали скольжением, и в случае очень мелких песчаников, на которых ветер действовал очень пагубно.

2° Покрытие их растительной землей слоем толщиной 0,08–0,10 м, чтобы способствовать растительности. Этот способ успешно применялся на мелких песках Этамп.

3° Дернование или посадка растений.

4° Облицовка сухой кладкой, когда вода подмывает подошву; иногда полезно в этом случае поддерживать подошву облицовки сваями.

5° Иногда необходимо применять небольшие подпорные стенки, раскрепленные контрфорсами к стенкам, удерживающим балласт, с помощью небольших арок; это часто случается для текучих глин.

6° Мелкие влажные пески иногда просачиваются через швы облицовки, которой их покрывают. В этом случае может стать необходимым поддерживать откосы небольшими сваями и тонкими шпунтовыми сваями.

Не может быть фиксированных правил для применения каждой из этих систем; решение в каждом конкретном случае оставляется на усмотрение опытного инженера. Цель, которую всегда нужно иметь в виду, – обеспечить отвод внешних вод таким образом, чтобы полностью защитить путь.

Иногда бывает необходимо утрамбовывать грунты, и нельзя приложить слишком много забот к этой операции, чтобы избежать неравномерных осадок. В частности, в местах, заполненных после, таких как пандусы, канавы для отвода воды и т.д.; вблизи искусственных сооружений; за устоями мостов и внутри подпорных стенок.

Осадки, происходящие во время эксплуатации дороги, требуют постоянно поднимать путь, чтобы заполнить песком возникающие углубления. Этот песок, который нужно подвозить вагонами, пускаемыми в ночное время, чтобы не мешать эксплуатации, значительно увеличивает расходы.

Когда насыпные работы выполняются с помощью вагонов, осадки часто очень велики; были примеры осадок грунта на один и даже полтора метра после устройства пути. Эти огромные осадки сильно увеличивают расходы на содержание из-за трудности транспортировки песка.

Когда насыпи могут выполняться слоями по 0,50–0,60 м, и в то же время транспортировка осуществляется тачками, проезд транспортных средств разбивает комья земли и оказывает своего рода трамбовку, очень благоприятную для немедленной усадки грунтов.

О средствах транспорта для выполнения земляных работ.

Тачки. Этот способ транспортировки подходит для расстояний менее 90–100 метров. Когда расстояния превышают этот предел, приходится прибегать либо к вагонеткам, либо к тележкам. Мы не будем приводить формулы, служащие для расчета стоимости транспортировки. Формулы для случая вагонеток не были нами применены в достаточно больших масштабах, чтобы мы могли дать их как основу для расчетов.

Преимущества транспортировки тележками:

1. Осуществление перевозок с помощью оборудования, которое можно найти повсюду, от которого легко избавиться по окончании работ, и которое позволяет значительно расширить объем работ без особых затрат и трудностей.

2. Хорошее измельчение грунта, его быстрая и равномерная усадка, создание, одним словом, очень хороших насыпей.

Преимущества транспортировки вагонетками:

1. Гораздо большая экономичность, что касается собственно перевозки: лошадь обычной силы может тянуть в железнодорожной вагонетке 2–2,5 м³ земли; в тележке и по обычной местности она потянет только 0,4–0,5 м³ земли. Разница тем больше, чем лучше выровнен путь; но погрузка и разгрузка вагонеток часто требуют перекидывания лопатой и даже транспортировки тачками; перемещения рельсов и т.д.; наконец, значительное и дорогостоящее оборудование (вагонетки, железная дорога и т.д.), от которого очень трудно избавиться после завершения работ. Все эти причины приводят к тому, что для небольших расстояний тележка может выдержать сравнение с вагонеткой с выгодой.

   На каком расстоянии следует отказаться от тележки в пользу вагонетки? Точно сказать не можем. Это расстояние, очевидно, меняется в зависимости от расположения насыпей и выемок, что более или менее благоприятствует погрузке и разгрузке.

2. Возможность работать на грунтах плохого качества в любую погоду, тогда как перевозка тележками если не невозможна, то по крайней мере очень дорога, когда грунт влажный и погода дождливая.

Это опять один из тех деликатных вопросов, оценка и решение которых предоставлены опыту и проницательности инженера.

7-я Лекция.

Об искусственных сооружениях.

Общие соображения об искусственных сооружениях.

Они, для железных дорог, подобны тем, что обычно выполняются для шоссейных дорог и каналов; только на железных дорогах, еще больше, чем на каналах и обычных дорогах, важно иметь хорошо выполненные каменные кладки, в которые входят только качественные материалы; причины этого:

1° — Искусственные сооружения на железных дорогах испытывают при проходе локомотивов более значительные случайные нагрузки, чем на обычных дорогах и каналах.

2° — Неровности или неправильности укладки, стыки рельсов, которые никогда не соединяются идеально, вызывают вибрации, способные разъединить и повредить плохо сделанную кладку.

3° — Наконец, содержание и ремонт искусственных сооружений на железной дороге труднее и дороже, чем на любом другом пути сообщения.

Таким образом, нужна хорошая гидравлическая известь для растворов, добавление пуццолана, если известь сомнительная.

Твердый, прочный и, главное, неморозостойкий бутовый камень в кладке, особенно в облицовке, на толщину не менее 0,40–0,50 м.

Тесаный камень в оголовках и карнизах.

Учитывать в толщине сводов и подпорных стенок необычные высоты и возникающие из-за этого нагрузки от грунта, который должны нести своды и который должны поддерживать стены.

Придавать, в общем, вертикальным стенам уклон (закол) 1/15 – 1/20; избегать отвесных стен, которые всегда кажутся нависающими и при малейшем движении действительно нависают.

Над сводами оставлять для слоя песка над экстрадосом свода и его гидроизоляцией (шапой) высоту не менее 1 м до поверхности рельса, чтобы между низом шпалы и кладкой был слой песка толщиной не менее 0,50–0,60 м, образующий своего рода матрас, предназначенный для гашения ударов и вибраций, которые проход локомотива может передавать кладке.

Когда свод находится под несколько высокой насыпью, предпочитать для двух оголовков крыльевые стены (подпорные стенки, идущие параллельно оси дороги) вместо обратных стенок (перпендикулярных оси). Обратные стены часто испытывают распор и расходятся, вызывая разрывы в теле свода; крыльевые стены, напротив, создают своего

рода контрфорсы, которые подпирают два оголовка свода и противодействуют разрывам, которые стремятся вызвать вибрации.

Когда в высоких виадуках имеются устои или опоры большой высоты, прорезать их через определенные расстояния горизонтальными рядами тесаного камня, образующими как бы уступы, несущие тело самой опоры.

Гидроизоляция (шапы) толщиной 0,50–0,60 м должна быть сделана из раствора высшего качества, тщательно выровнена и заглажена, чтобы не иметь ни трещин, ни щелей; придавать этим шапам сильные уклоны; класть на их поверхность несколько необработанных камней для облегчения прохода и стока вод.

Необходимость для быстрой работы – принимать типовые решения для всех обычных случаев и делать специальные проекты только для исключительных или неординарных случаев.

Разделить искусственные сооружения на две категории:

1. Неординарные сооружения, т.е. имеющие исключительные размеры и требующие специальных проектов.
2. Обычные сооружения, т.е. выполняемые по общим типовым решениям, которые слегка изменяются, когда того требуют обстоятельства.

I. О неординарных сооружениях.

Высокие виадуки: расположение устоев; тонкие обратные стены толщиной 1,20–1,50 м, несущие стрельчатые арки, между которыми откос насыпи образуется естественно, как и снаружи, чтобы почти полностью избежать распора на обратные стены; в пятах стрельчатых арок хорошей мерой предосторожности, которую мы приняли, было для большей надежности связать эти обратные стены железными стяжными болтами с большими чугунными шайбами на концах, образующими гайки.

На обратные стены действовали бы огромные распоры, если бы заполнять промежуток между ними насыпью, как в обычных постройках.

Даже для виадуков или мостов небольшой высоты важно с величайшей тщательностью следить за природой грунта, который помещают между обратными стенами за устоями; есть грунты глинистой природы, которые набухают от влаги и создают распоры, которым ничто не может противостоять; по возможности укладывать в этих местах грунты максимально водопроницаемые: песчаные грунты, сухую кладку из некачественного камня, если он есть.

О тоннелях: на дороге Орлеан их нет; говорить о них значило бы выйти из моей темы, так как я имею здесь в виду только описание работ на дороге Орлеан.

О мостах с большими пролетами: я их тоже не строил; их следует избегать, когда можно; большие пролеты действительно необходимы только на судоходных реках; виадуки в долинах предпочтительно строить с пролетами всего 8–10 м; эти арки, в

общем, легче и экономичнее в строительстве, более надежны в прочности, особенно из мелких материалов (бутового камня), и, наконец, менее дороги в содержании.

II. Об обычных сооружениях.

Обычные сооружения можно разделить на три класса:

1. Переезды в одном уровне;
2. Мосты и водопропускные трубы под железной дорогой, либо для отвода воды, либо для прохода публики;
3. Путепроводы над железной дорогой для общественного движения (может также случиться, что нужно пропустить водоток над железной дорогой; но этот случай должен быть очень редок, если вообще представится, так как водотоки всегда находятся в низинах, и в этих же низинах железные дороги обычно проходят по насыпям).

I. О переездах в одном уровне.

Контррельсы для удержания мостовой и щебеночного покрытия и обеспечения таким образом свободного прохода реборд колес как локомотивов, так и экипажей.

Расположение, принятое на линии Корбей: подушки (башмаки) установлены на шпалах, как обычные подушки; недостаток этого расположения для мостовой, которая над шпалами не имеет достаточной толщины.

Расположение, принятое на линии Орлеан для устранения этих недостатков (см. прилагаемый чертеж). рис. ( )

Предпочитать на переездах в уровне мостовую щебеночному покрытию из-за мелких камней, которые в последней системе могут легко быть выброшены либо колесами экипажей, либо ногами лошадей в зазор, оставленный между рельсом и контррельсом для прохода реборд колес вагонов.

О ширине переездов:

Для государственных (королевских) дорог . . . . . 8,00 м

Для департаментских дорог . . . . . 7,00 м

Для всех дорог (путей сообщения) – больших проезжих, обычных местных, подъездных, частных . . . . . 5,00 м

Для пешеходных троп . . . . . 2,00 м

Общее расположение барьеров (шлагбаумов): ширина 5,00 м, только с одним крылом и могут закрывать только обычную дорогу, будь переезд прямым или косым.

А) Исключительное расположение барьеров: барьер с двумя крыльями, которые могут закрываться по желанию либо на железную дорогу, либо на обычную дорогу, всегда оставляя открытой ширину 7,40 м для прохода железной дороги.(*)

Большое преимущество таких барьеров на переездах, часто пересекаемых стадами скота.

Избегать, насколько возможно, переездов в уровне для государственных и департаментских дорог и для важных местных путей. Не забывать, что сторож, получающий 800–900 франков в год, представляет капитал в 15 000–18 000 франков; что дом сторожа всегда стоит от 2000 до 4000 франков; что барьеры, мощение, контррельсы и т.д. представляют расход в 2000–3000 франков, и что в конечном итоге переезд в уровне эквивалентен капитальным затратам в 20 000–25 000 франков, что эти переезды, кроме того, создают большую или меньшую вероятность несчастных случаев, и что, в конечном счете, путепровод над или под дорогой часто может быть реальной экономией.

II. О мостах и водопропускных трубах под железной дорогой.

Эти мосты и трубы могут служить двум целям: для отвода вод (постоянных или временных) и для прохода пути сообщения (общественного или частного); очень часто они служат одновременно обеим целям.

О водопропускных трубах или проходах под дорогой, предназначенных специально для отвода вод.

1. Чугунные трубы диаметром 0,40 м, 0,30 м, 0,20 м, 0,10 м применяются для небольших водотоков, не подверженных сильным паводкам, или для маленьких ручьев, питающих бассейны в частных садах.

Важно не размещать их слишком близко к рельсу, чтобы проход машин не мог их сломать; с другой стороны, не следует заглублять их слишком глубоко в землю, чтобы в случае поломки, аварии или любого ремонта можно было заменить или отремонтировать их за одну ночь, между последним вечерним и первым утренним поездом. Мы размещаем их не менее чем на 1 м ниже рельса и не более чем на 2 м. Когда высота между дном ручья и уровнем рельса составляет более 2 м, сводчатый каменный водопропуск предпочтительнее чугунной трубы.

Когда труба проходит под железной дорогой с сильным изгибом (сифоном), как это бывает в садах, питающих либо высокие резервуары, либо фонтаны, благоразумно проложить под железной дорогой двойную трубу: свинцовую трубу нужного диаметра и защитную чугунную трубу снаружи; если внешняя труба лопнет по какой-либо причине,

(*) 3,70 м. между осью железной дороги и внутренней стороной каждого стационарного столба, что дает расстояние 7,20 м. между внутренними сторонами противоположных соответствующих столбов для прямых проходов, но которое может быть значительно больше для косых проходов.

вода может вытечь, не вырываясь на поверхность пути в виде струй, где она могла бы размягчить грунт, сделать его влажным и привести к несчастным случаям.

2. Небольшие водопропуски с отверстием 0,70 м, с желаемой высотой, переменной от 0,50 м до 1–1,5 м ниже рельса.

Устои этих водопропусков каменные; рельсы образуют как бы мост; подушки установлены на верхних плоскостях двух устоев, и рельс не имеет никакой опоры между этими двумя устоями.

Небольшой деревянный настил, перекрывающий промежуток между двумя устоями, имеет единственной целью нести небольшой слой песка, чтобы продолжить путь и не оставлять пробела для рабочих или других лиц, идущих по нему пешком.

Эти небольшие водопропуски применяются примерно в тех же обстоятельствах, что и чугунные трубы.

Чтобы открыть или прочистить их, поднимают деревянный настил, закрывающий промежуток между двумя устоями.

3. Каменные водопропуски.

Важно, чтобы эти водопропуски не были слишком малы, чтобы человек всегда мог в случае необходимости их осмотреть и убедиться, что они не вызывают беспокойства.

Наши самые маленькие каменные водопропуски имеют 1 м ширины и от 1 м до 1,5 м высоты в замке, что представляет расстояние между поверхностью лотка и уровнем рельса от 2,2 м до 2,7 м; толщина свода в замке и слой песка, его покрывающий, составляют вместе высоту 1,2 м, предполагая обе сведенными к минимуму; когда высота больше, каменный водопропуск строится без труда с размерами по ширине и высоте, необходимыми для прохода воды.

4. Водопропуски с каменными устоями и чугунными балками.

Когда водопропуск должен иметь большую ширину и в то же время нет достаточной высоты, чтобы сделать один или несколько каменных сводов, применяют чугунные балки, опирающиеся своими концами на опоры и устои и несущие рельсы, причем промежутки между балками перекрыты деревянным настилом; мы вернемся к этим балкам, говоря о мостах под железной дорогой, предназначенных для проезда общественной или частной дороги.

О мостах или проходах под железной дорогой, предназначенных для обслуживания путей сообщения.

Размеры, установленные техническими условиями для этих мостов или проходов:

По ширине не менее:

- для государственной дороги . . . . . 8 м
- для департаментской дороги . . . . . 7 м
- для дороги местного значения . . . . . 5 м
- для обычной местной дороги . . . . . 4 м

Высота от проезжей части дороги составляет для всех этих мостов не менее 5 м в замке, если они сводчатые каменные, и не менее 4,30 м под балками, если они образованы настилом, поддерживаемым чугунными или деревянными балками.(*)

Ширина прохода для железной дороги на этих мостах должна быть между перилами не менее 7,40 м.

Высота перил должна быть не менее 0,80 м.

Эта ширина прохода для железной дороги и эта высота перил должны оставаться такими же, разумеется, для мостов под дорогой, которые вместо пересечения дороги предназначались бы для пересечения водотока.

Делать мосты под дорогой каменными, когда это возможно, но заметить, что для устройства такого моста без трудностей требуется высота насыпи почти 7 м; в самом деле:

Высота в замке должна быть не менее . . . . . 5 м

Толщина свода в замке, гидроизоляция, песчаная подушка между верхом кладки и низом шпал займут примерно . . . . . 2,00 м

Всего . . . . . 7,00 м

Чтобы увеличить располагаемую высоту, иногда углубляют обычную дорогу под железной дорогой, сопрягая новый уровень со старым на подходах к мосту с помощью более или менее крутых пандусов.

Принимая это решение, нужно следить за отводом вод и не делать на подходах к мосту слишком крутых пандусов.

Правила, принятые в этом отношении, таковы: не допускать на новых дорогах уклонов или подъемов крутизной, превышающей 0,03 м для государственных и департаментских дорог и 0,05 м для местных дорог.

На дорогах, уклоны которых до строительства круче указанных выше, администрация допустила отступление от установленного ею правила, и она в общем признает за компаниями право сохранять на новых дорогах уклоны, существовавшие на старых, либо в самой точке, где происходит отклонение, либо на подходах.

Эти правила, касающиеся уклонов, применимы ко всем случаям, когда дороги отклоняются в связи со строительством железной дороги.

Когда высота насыпи превышает 7 м, всегда есть основание делать каменные мосты.

(*) Я полагаю, что данная высота под балкой в 4,30 м, несколько недостаточная для вагонов, груженных соломой и сеном, должна быть увеличена до 4,50 м, чтобы полностью удовлетворить все потребности.

Что касается габаритов по высоте и ширине для пассажирских перевозок, то они могут значительно варьироваться и быть сокращены в отдельных частных случаях, когда дороги являются лишь подъездными путями или имеют второстепенное значение, посредством дружественных соглашений с общинами или частными лицами.

Понятно, что высота в замке может тогда без неудобств превышать 5 м и подниматься до 6, 7, 8, 9 метров и более; у нас есть виадуки высотой до 10 и 16 м в замке.

Инженер, как можно понять, свободен, когда высота насыпи превышает 7 м, выбирать высоту в замке, которую ему удобно принять, с соответствующим изменением длины свода.

Для больших многопролетных виадуков в общем выгодно доводить высоту в замке до максимума.

Для однопролетных мостов и водопропусков малого отверстия, напротив, выгодно делать свод как можно ниже в замке и, следовательно, как можно длиннее, с крыльевыми стенами.

О косых мостах.

Способ избегать их, который хорошо применять, когда в распоряжении только мелкие материалы: делать прямые мосты, несколько удлиненные.

О мостах с чугунными балками и деревянным настилом.

Мы построили на линии Корбей мосты с деревянными балками и настилом; но я считаю, что деревянные балки, которые я принял только по соображениям экономии, плохи, и следует предпочитать им чугунные балки, учитывая трудность их замены.

Что касается деревянного настила, его можно содержать и обновлять, не останавливая движения; он не представляет, по-моему, никаких неудобств.

Наши чугунные балки двух видов: те, которые несут настил поверх балки, и те, которые несут его с помощью нижних полок (см. чертежи этих двух систем) рис. (14).

Толщина между низом балки и верхом рельса в 1-й системе составляет . . . . . 0,68 м,

а именно: Высота балки . . . . . 0,45 м (меняется с пролетом)

Толщина настила . . . . . 0,08 м

Толщина подошвы подушки . . . . . 0,04 м

Высота рельса . . . . . 0,11 м

Всего . . . . . 0,68 м

А во второй системе . . . . . 0,34 м

а именно: Нижняя толщина спаренных балок . . . . . 0,04 м

Толщина деревянной подкладки, предназначенной нести подушки и образовывать своего рода матрас на чугуне . . . . . 0,15 м

Толщина подошвы подушки . . . . . 0,04 м

Высота рельса . . . . . 0,11 м

Всего . . . . . 0,34 м

Нижние полки имеют, как видно, целью максимально уменьшить толщину несущей системы и, таким образом, увеличить располагаемую высоту для прохода.

Речь идет только о том, чтобы придать чугуну достаточные размеры; это мы и сделали, как можно убедиться расчетом.

Балки уложены на слой пуйиского цемента, опирающийся на тесаный камень.

Преимущество этих балок для косых мостов.

Мы применили балки пролетом 6 м, 5 м, 4 м, 3 м, 2 м.

III. О путепроводах над железной дорогой.

Ширина этих мостов между перилами такая же, как и для мостов под дорогой:

Для государственной дороги . . . . . 8 м

Для департаментской дороги . . . . . 7 м

Для дороги местного значения . . . . . 5 м

Для обычной местной дороги . . . . . 4 м

Ширина прохода для железной дороги между двумя устоями 7,40 м.

Вертикальная высота между верхом рельсов и низом моста, будь то кладка или деревянные конструкции, должна быть . . . . . 4,30 м.

Мы приняли на дороге Орлеан . . . . . 4,80 м.

Высота, необходимая для того, чтобы большой дилижанс с открытым империалом, установленный на обычную тележку, мог проехать под мостами.

Когда есть высота, можно делать эти мосты каменными; но, в общем, лучше делать их деревянными, чтобы не закрывать обзор.

(См. тип наших мостов для линии Орлеан) рис. (15)

Недостаток, который можно упрекнуть этому типу и который следовало бы исправить, заключается в использовании деревянных прогонов; следовало бы предпочтительно принять чугунные прогоны, чтобы иметь возможность обслуживать и заменять только балки и настил, которые можно снять и установить заново, нисколько не мешая движению по железной дороге.

Снятие и установка опор, напротив, могут вызвать некоторые затруднения.

Этот тип применим как к косым мостам, так и к прямым, заботясь в случае косых мостов, когда отверстие и, следовательно, пролеты балок заметно увеличиваются, заменять простые балки, изображенные на нашем чертеже, более сильными балками или спаренными балками.

Мосты, строящиеся на пересечении с государственными и департаментскими дорогами, должны быть каменными или железными.

Существенная разница между путепроводами и мостами под дорогой в том, что первые могут обслуживаться и заменяться, не мешая движению, тогда как для вторых это не

так; отсюда мы использовали чугун для балок в мостах под дорогой и дерево в путепроводах.

О мосте в Этамп, под которым проходят 3 пути и средний пролет которого имеет отверстие 12 м. Система подвески под балками; проволочные тросы, прикрепленные к обоим концам балки, натяжения цепи уравновешиваются балкой, система не оказывает никакого тягового усилия на опоры.

Пешеходный мостик шириной 2 м, также имеющий пролет 12 м; усиленные балки, образующие перила.

8-я Лекция.

Первый вопрос, который нужно решить для строительства железной дороги, – это точное определение ее оси.

Столько соображений должно влиять на это определение, что трудно их здесь перечислить; всегда нужно искать золотую середину между совершенством трассировки, которым являются, в общем, прямая линия в плане и горизонтальная площадка в профиле, и расходами, которых требует это совершенство.

Принимают кривые в плане и подъемы и спуски в профиле, чтобы избежать иногда непрактичных, а чаще всего лишь очень дорогих работ; но нужно прибегать к этим кривым и уклонам как можно реже.

Для пассажирской дороги, где составы, идущие в одном направлении, в общем эквивалентны составам, идущим в противоположном, трасса уровня или максимально приближенная к нему – это лучшее.

Для товарной дороги, напротив, может случиться, что перевозки будут значительно больше в одном направлении, чем в другом; такова дорога Сент-Этьен – Лион, главной целью которой была перевозка углей из бассейна Сент-Этьена к Роне; для такой дороги очевидно, что более или менее крутой спуск в направлении большего движения предпочтительнее горизонтальной площадки.

Так как почти все дороги служат одновременно и для пассажиров, и для товаров, инженер должен принимать во внимание при выборе своей трассы все вероятные элементы перевозок, которые он может предвидеть, и затем принимать решения соответственно.
Почти всегда трудности местности не оставляют этому выбору всей желаемой свободы и диктуют инженеру трассу, которой он должен следовать.

Рассматривая вопрос о локомотивах, мы говорили о спусках и подъемах, о крутизне, которую следует принимать в данных обстоятельствах, и о влиянии, которое эти спуски и подъемы оказывают на тягу; мы не будем возвращаться к этой теме.

Заметим только, что иногда для облегчения устройства какого-либо искусственного сооружения позволяют себе нарушить однообразие профиля (подъем, спуск или горизонтальная площадка) и вводят на подходах к этому мосту подъем и встречный подъем длиной в несколько сотен метров, имеющих крутизну больше, чем нормальный подъем участка дороги, на котором они находятся.

Машина, благодаря приобретенной скорости, преодолевает без труда подобную неровность, которая часто сильно облегчает строительство искусственного сооружения; у нас не было случая воспользоваться этой возможностью на линии Орлеана; но мы знаем, что она была допущена на нескольких английских дорогах, и указываем на нее, потому что она не представляет, по-видимому, никаких серьезных неудобств; однако нужно прибегать к ней только при действительной необходимости.

Что касается кривых, минимальный радиус, который нам был предписан, составлял 800 м; мы приняли 1000 м; на вокзалах и станциях для служебных путей можно (и часто приходится) принимать меньшие радиусы; мы иногда допускали радиусы 500 и даже 250 м; но мы делали это как можно реже.

Когда имеется кривая радиусом 2000–2500 м, бесполезно искать лучшее; следовательно, нужно прибегать к кривым большего радиуса только тогда, когда этого требует местность и когда кривая очень большого радиуса позволяет проложить трассу по идеально расположенной местности, что иногда случается.

Кривые разбиваются по абсциссам и ординатам; инженер должен выбирать оси так, чтобы максимально упростить трассировку с учетом трудностей местности; понятно, с какой точностью должны быть определены базисы операций, на основе которых устанавливается трасса.

Когда ось хорошо определена на местности, когда продольный профиль тщательно снят, нужно установить для каждой точки ширину земли, подлежащей отчуждению для строительства собственно дороги и ее принадлежностей.

Я объясню, что я понимаю под ее принадлежностями; это:

1° Разъездные и стояночные пути для отстоя локомотивов и вагонов, для посадки и высадки пассажиров, для погрузки и выгрузки товаров и скота; наконец, для всех нужд эксплуатации, которые инженер должен постараться предусмотреть как можно лучше.

2° Канавы, необходимые для восстановления течения вод там, где оно изменено вследствие строительства железной дороги; часто случается, чтобы не слишком умножать водопропуски, объединяют с помощью боковых канав вдоль железной дороги несколько маленьких водотоков в один; для рытья этих боковых канав нужно иногда также покупать землю или отводить водоток, чтобы выбрать подходящее место для основания водопропуска (пример: Луэтт и Шалуэтт в Этамп, где эти две маленькие речки были отведены к подножию склонов, окаймляющих долину, вместо того чтобы оставить их посреди этой долины, где они находились первоначально; удалось также основать два виадука Луэтт и Шалуэтт на прочном грунте, тогда как посреди долины находился только грунт, неспособный сопротивляться, мощностью более 20 метров; в подобном случае также необходимо покупать земли, необходимые для прокладки новых русел).

3° Отклонения дорог для облегчения строительства искусственного сооружения; боковые дороги шириной 3, 4, 5, а иногда и 8 м, часто необходимые для обслуживания имуществ, разрезанных железной дорогой, и очень полезные для сокращения числа переездов, устраиваемых над или под дорогой; на комиссиях по расследованию часто приходится предлагать такие дороги, чтобы добиться упразднения переездов; это дает большую экономию.

4° Отвалы и резервы грунта; когда их можно предусмотреть заранее, хорошо включить их в посессионные планы, особенно для огороженных земель, для которых подобные работы не могут быть обложены налогом на владельцев иначе как через экспроприацию.

Для самой дороги нужно выкупить ширину собственно дороги, которая составляет 8,30 м в насыпи и 12,00 м в выемке, с малыми боковыми канавами, их откосами и бермами.

Плюс место для откосов; чтобы предусмотреть любую возможность оползня, мы рассчитали:

1° Откосы в насыпи с заложением 2:1, хотя при исполнении мы дали этим же откосам только 1,5:1.

2° Откосы в выемке с заложением 1,5:1, хотя при исполнении мы дали им только 1:1; этот избыток ширины земли имеет целью позволить выполаживать откосы, когда возникнет необходимость, не прибегая к новой экспроприации.

Плюс еще две бермы у подошвы откосов в насыпи и у бровки откосов в выемке; эти бермы имеют для насыпей ширину 2 м, а для выемок – 3 м со стороны долины; этот избыток ширины со стороны склона имеет целью позволить устройство, если необходимо, верхних канав для приема вод и предотвращения их попадания в выемку.

Эти бермы служат для посадки живых изгородей, которые требуют 1,00 м, и для небольшой тропинки для прохода людей, охраняющих и наблюдающих за дорогой.

Видно, что для определения ширины земель, подлежащих отчуждению, необходимо иметь поперечные профили; если бы местность была ровной или почти ровной, ширина земли, подлежащей отчуждению, выражалась бы:

<u>в насыпи</u>, называя h высоту дороги в рассматриваемой точке, формулой:

$$8{,}30\ м + 4\ h + 4{,}00\ м = 12{,}30\ м + 4\ h$$

половина слева и половина справа от оси дороги.

<u>в выемке</u>, называя h глубину выемки в рассматриваемой точке, формулой:

$$12{,}00\ м + 3\ h + 5{,}00\ м = 17{,}00\ м + 3\ h$$

из которых $8\ м + \frac{3\ h}{2}$ со стороны оси, где находится долина, и $9\ м + \frac{3\ h}{2}$ со стороны оси, где находится склон.

Когда эта местность, вместо того чтобы быть ровной или почти ровной, имеет поперечный уклон, необходимо изменить вышеприведенные формулы и рассчитать ширину земли, подлежащей отчуждению, исходя из формы, которую представляет грунт, на котором должна покоиться дорога, всегда исходя из тех же гипотез в отношении наклонов откосов и ширины берм.

В исключительных случаях, когда приходится приобретать ценные земли или строения, нужно сократить ширину до строго необходимого, делая откосы круче с помощью каменных облицовок или подпорных стен и уменьшая бермы.

При прохождении через парки сокращать ширину только тогда, когда это очевидно дает экономию; потому что некоторые владельцы видят весь ущерб в пересечении или разрезании собственно парка и почти не учитывают площадь.

В подобных случаях нужно выяснять расположение владельцев и действовать соответственно.

Когда таким образом точно установлены границы необходимой земли, определены боковые дороги, боковые канавы, отклонения дорог и ручьев, места, необходимые для строительства искусственных сооружений и устройства их подходов, земли, предназначенные для резервов или отвалов, площади для стояночных и разъездных путей, остается только составить проекты, которые должны быть представлены либо вышестоящей администрации, либо местным комиссиям по расследованию.

Я приведу здесь перечень документов, которые должны входить в проект.

Желательно, чтобы форматы этих проектов, масштабы планов и профилей, указания, которые они должны содержать, были установлены заранее, чтобы избавить инженера от всякой неопределенности и колебаний.

Здесь будет указано, как были составлены проекты дороги Орлеан, предоставляя инженерам подражать им или исправлять их, если им так заблагорассудится.

Здесь не будет говориться о планах, относящихся к расследованиям, предписанным статьей 3 раздела *I* закона об экспроприации от 3 мая 1841 г.; расследованиям, которые имеют целью получить мнение местностей об общем направлении трассы.

Понятно, что эти планы должны меняться в зависимости от протяженности линии, которую нужно представить на расследование; так, для представления на расследование общей трассы железной дороги, например, из Парижа в Лион, либо по долине Йонны, либо по долине Сены, либо, наконец, по долине Об, нужен план очень мелкого масштаба, скорее похожий на карту, чем на план; затем имеются детальные планы более крупного масштаба для частей, представляющих реальные трудности и могущих стать при расследованиях предметом обсуждения и серьезного изучения.

Для нашей дороги Орлеан расследования проводились по планам, составленным в масштабе $\frac{1}{10.000}$ или 0,001 м на 10 м.

Дело, представляемое администрации, включает, помимо упомянутого плана, продольный профиль, для которого принимают для горизонтальных расстояний тот же масштаб, что и для плана, т.е. $\frac{1}{10.000}$, а для высот – масштаб $\frac{1}{1.000}$ или 0,001 м на метр.

К топографическому плану и упомянутому профилю прилагается пояснительная записка, которая является важным документом проекта и в которой излагаются мотивы, побудившие инженеров принять данную трассу предпочтительно перед всеми другими.

К этим проектам прилагаются детальные планы для исключительных и важных частей проекта, на которые желательно обратить внимание комиссий по расследованию, либо чтобы проект был принят, либо чтобы был отклонен.

О топографическом плане.

Когда общая трасса утверждена, следует приступить к детальным изысканиям.

С этой целью представляют администрации топографические планы, изображающие трассу более точно, детально и полно, чем в первом проекте; важно, насколько это возможно, чтобы этот проект больше не изменялся, за исключением некоторых деталей, касающихся работ, затрагивающих интересы коммун.

Дело топографических планов состоит из:

I. Плана в масштабе 1:5000 или 0,0002 м на метр, указывающего:

1° Ось железной дороги, проложенную с максимально возможной точностью;

2° Радиусы всех кривых и точки касания с прямыми участками;

3° Приблизительную ширину земель, подлежащих отчуждению, с указанием мест расположения разъездных и стояночных путей;

4° Переезды через железную дорогу (над ней, под ней или в одном уровне);

5° Сооружения для отвода вод и, наконец, все искусственные сооружения, которые могут потребоваться для строительства дороги;

6° Места поперечных профилей, прилагаемых к проекту, чтобы дать общее представление о форме местности;

7° Концы уклонов, горизонтальных площадок и подъемов обозначены буквами a, b, c и т.д., служащими для привязки плана к сопровождающему его продольному профилю;

8° Границы коммун, округов и департаментов.

Эти топографические планы охватывают протяженность от 15 до 20 км и включают пересечение железной дорогой нескольких коммун, но они должны относиться только к одному округу, так как они сдаются на хранение в супрефектуры каждого округа вместе с планами для расследования.

II. Лист профилей, представляющий продольный профиль в масштабе 1:5000 для горизонтальных расстояний и 0,001 м на метр для вертикальных высот; на продольном профиле отмечены буквами a, b, c и т.д. концы уклонов, горизонтальных площадок и подъемов, служащие точками привязки профиля к плану.

На продольном профиле представлены:

1° На первой горизонтальной линии – названия коммун с протяженностью их пересечения железной дорогой.

2° Искусственные сооружения всех видов для обслуживания прерванных железной дорогой сообщений и для отвода вод.

3° Горизонтальные площадки, спуски и подъемы с указанием их крутизны и соответствующих длин.

4° Затем идет собственно профиль, изображающий насыпи красным цветом, а выемки желтым.

5° Красные отметки оси дороги, отнесенные к среднему уровню моря в Гавре; черные отметки естественной поверхности земли в соответствующей точке; и, наконец, разности между красными и черными отметками, или отметки выемки и насыпи.

6° Наконец, горизонтальная линия, представляющая средний уровень моря в Гавре, с горизонтальными расстояниями, разделяющими ординаты, отметки которых были даны.

Под продольным профилем через определенные расстояния изображены поперечные профили, вычерченные в масштабе 0,001 м на метр и представляющие, главным образом, важные насыпи и выемки трассы, а также форму местности в точках, где она представляет исключительные особенности.

III. Пояснительная смета работ, подлежащих выполнению для строительства дороги.

Эта смета включает:

1° Общее описание трассы и обозначение местностей, которые она пересекает или вблизи которых проходит.

2° Геометрическое описание трассы в плане.

Это таблица с несколькими колонками, представляющая прямые участки и их длины; кривые и их развертки; радиусы кривых; стрелу, хорду и тангенсы каждой кривой; углы, которые образуют следующие друг за другом прямые участки, с указанием направления, в котором они образованы.

С помощью этой таблицы можно должно быть возможно восстановить точную геометрическую трассу дороги в плане.

3° Таблица подъемов, горизонтальных площадок и спусков.
Эта таблица является выборкой из продольного профиля; она указывает длины спусков, горизонтальных площадок и подъемов; их крутизну; произведения крутизны на длину, т.е. величины, на которые поднимаются или опускаются с помощью каждого подъема или спуска; и, наконец, красные отметки на концах спусков, горизонтальных площадок и подъемов.

С помощью этой таблицы можно должно быть возможно воспроизвести продольный профиль дороги, абстрагируясь, разумеется, от формы естественной поверхности земли.

В этой же главе дается описание принятого поперечного профиля дороги как в выемке, так и в насыпи.

4. Искусственные сооружения, подлежащие постройке для отвода вод или для поддержания сообщений, с указанием характера каждого сооружения, его размеров: ширины отверстия, длины или ширины между перилами; высоты в замке или под балками, высоты рельса над или под естественной поверхностью земли в точке, где должно быть построено каждое сооружение; и, наконец,

несколько слов объяснения относительно необычных особенностей, которые может представлять каждое искусственное сооружение, либо само по себе, либо в связи с работами, которые могут потребовать его подходы.

5. Наконец, места расположения стояночных и разъездных путей с приблизительным указанием их протяженности и мотивы выбранных мест для их устройства.

Когда проекты топографических планов были представлены администрации и одобрены ею, необходимо составить посессионные планы, которые, согласно условиям раздела *II* закона об экспроприации, должны быть представлены на местные расследования; эти планы сопровождаются различными документами, необходимыми для удовлетворения требований закона и для того, чтобы дать заинтересованным сторонам, т.е. коммунам и владельцам, чьи земли пересекает железная дорога, четкое представление об ущербе, который им может быть причинен, и о том, как их земли затронуты.

Дела посессионных планов включают:

1° Собственно посессионные планы земель или строений, уступка которых необходима для строительства дороги.

Планы, составленные в масштабе 0,001 м на метр, должны точно указывать границы земель, подлежащих отчуждению (границы, установленные или определенные на основе соображений, изложенных выше).

Эти планы обычно распространяют немного за пределы, необходимые для строительства дороги, чтобы в случае, если вследствие аварии потребуется расширение, можно было приобрести дополнительные земли без съемки новых планов.

Важно, чтобы эти планы были составлены с величайшей тщательностью; чтобы ось дороги и границы подлежащих отчуждению земель были точно изображены; чтобы все изменения, которые границы могут претерпеть в ходе работ, были постоянно отражены. Трудно поверить, сколько судебных процессов возникает после завершения работ по установлению границ; земли, приобретенные для общественно полезных работ, неотчуждаемы, и по прошествии ста лет захвата со стороны владельца администрация все еще вправе требовать восстановления своих границ; а прибрежные владельцы каналов и железных дорог очень склонны захватывать бермы или полосы отвода вдоль этих дорог или каналов, и эти захваты порождают непрерывные судебные процессы, отнимающие у инженеров массу времени.

С хорошо составленными вначале посессионными планами, тщательно исправляемыми или изменяемыми, когда это необходимо, в ходе выполнения работ, можно избежать многих судебных процессов, многих трудностей, многих потерянных часов; нельзя слишком рекомендовать этот предмет вниманию наших молодых инженеров.

Дела, относящиеся к сдаче на хранение посессионных планов в коммунах, включают:

1° Посессионные планы, о которых мы только что говорили, с указанием станций всех видов, боковых дорог, искусственных сооружений и т.д., предназначенных для поддержания существующих сообщений и отвода вод.

Понятно, что важно ознакомить заинтересованные стороны с тем, как будут поддерживаться и изменяться существующие пути сообщения и как будут сохраняться или восстанавливаться водостоки.

2° Таблица участков, занимаемых железной дорогой, с указанием фамилий владельцев, как они значатся в окладных листах, как того требует закон, действительных владельцев, если они известны; площади каждого участка и излишков, когда эти излишки примерно находятся в пределах, установленных законом.

3° Продольные и поперечные профили в масштабе посессионного плана (0,001 м на метр) как для вертикальных высот, так и для горизонтальных расстояний, с указанием искусственных сооружений всех видов; продольный профиль объясняет необходимость, которая могла возникнуть для строительства некоторых искусственных сооружений.

4° Наконец, пояснительная записка, включающая указание трассы, план с его кривыми и прямыми участками, указание продольного профиля с его горизонтальными площадками, спусками и подъемами и их крутизной; указание искусственных сооружений с указанием средств, которые необходимо применить для поддержания существующих сообщений и для обеспечения отвода вод.

Нужно отдельное подобное дело для каждой коммуны.

Когда пересечение коммуны слишком длинно или содержит много кривых, невозможно изобразить на одном листе все земли, необходимые для строительства дороги; тогда нужно выполнить план на нескольких листах, и к делу следует приложить общий план пересечения коммуны в масштабе топографических планов (1:5000), представляющий свод всех посессионных планов.

Этот общий план также необходим, чтобы дать комиссиям четкое представление о назначении и расположении дорог, которые нужно обслуживать и которые часто хотят либо отвести, либо упразднить.

...чтобы силы, противодействующие движению, не превышали пределов сцепления колес с рельсами...

Заметки из курса железных дорог

1842 – 1843

В изложении, которое г-н Жюльен представил в школе о работах, выполненных для строительства железной дороги Орлеан, он дал многочисленные и интересные детали о generally принятых и особенно реализованных на железной дороге Орлеан решениях для устройства пути, выполнения земляных работ и искусственных сооружений, устройства вокзалов, пересечений путей и т.д., и т.п... Впрочем, он предварил это изложение обширными разъяснениями по теории локомотива, в том виде, как она была первоначально задумана и опубликована г-ном Гийонно де Памбуром. Это избавит от необходимости возвращаться к этим вопросам в последующих лекциях. Здесь же предполагается рассмотреть лишь небольшое число фундаментальных вопросов, которые достаточно определены следующими подзаголовками:

О принципах, которые должны определять выбор трасс железных дорог.

О неудобствах и опасностях, проистекающих из соединительных кривых; и о средствах, предложенных для облегчения движения составов по кривым малого радиуса.

О различных системах, предложенных или примененных на практике для устройства железнодорожного пути.

О составлении проектов.

О принципах, которые должны определять выбор трасс железных дорог.

В курсе дорог имелась возможность настаивать на том важном наблюдении, что для любого пути сообщения собственно путь, а также транспортные средства и двигатели, которые предназначены его использовать, должны рассматриваться как неразрывные части одной механической системы; так что если один из элементов изменяется, каждый из двух других почти обязательно должен быть модифицирован. Это особенно очевидно, когда речь идет о железных дорогах, и достаточно в некоторой степени это высказать.

Условия, в соответствии с которыми должны быть проложены трассы железных дорог, напрямую зависят от влияния, которое оказывают на ход локомотивов неровности продольного профиля, как в вертикальной плоскости (уклоны), так и в плане (кривые). Следует поэтому изучить это влияние. Для этого мы не будем возвращаться к формулам, которые были даны ранее; мы представим только численные результаты, выведенные из этих формул или легко определяемые *a priori*.

Рассмотрим сначала движение локомотива, тянущего состав по уровенной линии, и посмотрим на эффект, который он способен произвести, как в отношении прилагаемого усилия, так и в отношении скорости.

Чтобы локомотив пришел в движение, должны быть выполнены два условия: во-первых, усилие, необходимое для начала движения, не должно превышать пределов сцепления ведущих колес с рельсами; во-вторых, движущая сила пара на поршнях должна, по крайней мере, уравновешивать сумму сопротивлений всех видов, препятствующих движению поршней. Каждое из этих условий устанавливает для определенных состояний машин и рельсов значение, которое не должно превышать усилие, соответствующее нагрузке. Эти два полученных таким образом значения обычно различны. Меньшее из этих двух значений представляет собой максимальное усилие, которое может развить машина.

Предположим, речь идет о машине весом 16 тонн, с колесами диаметром 1,67 м, поршнями диаметром 0,355 м и ходом 0,508 м, как должны быть у машин на дороге Орлеан. Достаточно часто ведущие колеса шестиколесных машин несут 0,55 веса машины; в данном случае это 8800 кг. Сцепление может меняться, в зависимости от того, сухой рельс или влажный, от наиболее благоприятных до наиболее неблагоприятных обстоятельств, между ⅕ и 1/15 веса. Если принять среднюю цифру 1/10, предельное значение внешних сопротивлений, которое машина сможет generally преодолеть, учитывая сцепление, составит 880 килограммов.

Если, с другой стороны, рассчитать движущую силу пара на поршнях, параллельно направлению движения, получим (при максимальном эффективном давлении, скажем, 4 атмосферы) 1530 килограммов; вычитая 112 килограммов на собственное сопротивление машины, останется более 1400 кг для максимального усилия, которое она могла бы развить, если бы случайно можно было получить достаточное сцепление. Видно, что при нынешнем состоянии нагрузок недостаточность сцепления сильно ограничивает ту долю, которую можно было бы извлечь из реальной мощности машин; и что, следовательно, промышленности железных дорог была бы оказана выдающаяся услуга, если бы в обстоятельствах, когда машина должна развивать значительные усилия, можно было бы заметно увеличить сцепление, не увеличивая в той же пропорции сопротивление качению.

Понятно, что если бы сцепление стало равным, например, одной пятой веса, приходящегося на ведущие колеса, вся сила машины могла бы быть использована.

Наибольшее усилие, которое сегодня могла бы generally (т.е. при обычном условии сцепления = 1/10 веса, приходящегося на ведущие колеса) развить 16-тонная машина, описанная выше, движущаяся по идеально горизонтальной площадке, соответствовало бы буксировке состава весом 260 тонн со скоростью чуть более 5,00 м/с.

Действительно, прямые сопротивления, сумма которых не должна превышать предела сцепления, составляют в данном случае:

1° Для буксировки 270 т. (включая тендер) по 3 кг на т. . . . . 810 кг

2° Для сопротивления ветра . . . . . 87,45 кг

Всего . . . . . 897,45 кг

усилие, которое, как видно, уже превышает значение, найденное ранее для предела сцепления машины с рельсами.

Полезная работа, совершаемая в этом случае машиной, выражается как 810 кг × 5 м = 4050 кгм, что соответствует эффективной мощности в 53 паровые лошадиные силы. Если бы мы напрямую оценили действие пара на поршни, мы бы нашли номинальную мощность в 75 лошадиных сил. Таким образом, полезный эффект составляет 70%, причем действительно полезная нагрузка, та, за перевозку которой платят, составляет не более $^{3}/_{5}$ от буксируемого веса: согласно соотношению веса порожних и груженых вагонов на железной дороге Орлеан, она сократилась бы примерно до 130 тонн.

Наименьшее усилие, которое может развить машина, соответствует буксировке тендера. Ранее (стр. 18) было рассчитано, что скорость тогда была бы около 16 льё в час, на горизонтальной местности и при неподвижном воздухе; т.е. при только действии пара. Само собой разумеется, что речь идет о машинах, о которых шла речь выше: с машинами, имеющими большие колеса и большую парообразующую способность, можно было бы получить скорости от 25 до 30 льё в час.

Если машина призвана развивать действие, находящееся между пределами усилия, которые только что были установлены, то, что рассматривается при отправлении, в момент, когда машинист открывает регулятор, пар находится при максимальном давлении, сразу видно, как механизм машины приходит в действие очень медленно, ведущие колеса вращаются без проскальзывания и увлекают тендер и передают первому вагону движение, которое, ослабевая, передается от вагона к вагону следующим. С этого момента каждый новый импульс пара вызывает увеличение скорости движения, но вскоре, по мере увеличения расхода пара цилиндром и падения давления пара в цилиндрах с ростом скорости, устанавливается равномерная и отныне постоянная скорость, пока состояние состава, рельсов, ветра и машины не изменится; и которая такова, что, с одной стороны, существует равновесие между давлением пара в цилиндрах и суммой сопротивлений, препятствующих движению поршней; а с другой стороны, существует равенство между весом воды, полезно испаренной котлом, и весом пара, израсходованного поршнями. Именно законы этого равномерного движения были даны ранее.

Предположим теперь, что более или менее значительный состав, буксируемый таким образом с равномерной скоростью на горизонтальной местности, внезапно встречает подъем. В тот же момент сопротивление возрастает; давление пара в цилиндрах становится недостаточным для уравновешивания суммы развившихся сопротивлений; скорость прогрессивно замедляется до тех пор, пока (если подъем не слишком крут и достаточно длинен) не установится новая равномерная скорость, соответствующая новым

условиям, в которых оказались машина и состав. Во время прогрессивно замедленного движения состав расходует большую или меньшую часть количества работы, представленной ранее приобретенной живой силой. Если бы подъем был одновременно очень длинным и очень крутым, могло бы случиться, что этого количества запасенной работы было бы недостаточно, чтобы помочь локомотиву преодолеть препятствие; мгновение за мгновением скорость уменьшалась бы; давление пара в цилиндрах постоянно возрастало бы; и вскоре достигло бы такого значения, что, будучи недостаточным для уравновешивания сопротивлений, оно было бы более чем способно преодолеть сопротивление проскальзыванию колес; сцепление было бы преодолено, колеса завертелись бы на месте и немедленно заскользили бы по рельсам, спускаясь по склону, продолжая при этом вращаться в том же направлении.

Если бы вместо того, чтобы равняться $^{1}/_{10}$ веса, приходящегося на ведущие колеса, сцепление равнялось бы $^{1}/_{5}$, эффекты были бы иными: давление пара в цилиндрах росло бы до тех пор, пока не стало бы равным давлению в котле; предохранительные клапаны открылись бы; все большая часть испаренной воды уходила бы впустую; скорость, упав намного ниже нижнего предела, соответствующего нормальным условиям использования пара, в конце концов стала бы нулевой и отрицательной, и состав либо остановился бы, либо спустился бы по подъему обратно, причем колеса, даже ведущие, вращались бы без проскальзывания в направлении, противоположном тому, в котором их стремился бы вращать пар; который тогда выполнял бы только роль регулятора и тормоза. Хорошо понятно, в каком случае машина остановилась бы: это случай, когда силы, развиваемые паром и силой тяжести, не отличались бы друг от друга настолько, чтобы избыток большей над меньшей мог преодолеть собственные сопротивления, которые должна была бы развивать машина, функционируя под двойным действием этих противоположных сил. Совершенно ясно, кроме того, что если бы возникли обстоятельства, которые только что были проанализированы, ни в коем случае не позволили бы составу спуститься обратно, и с помощью тормозов удержали бы его на месте до тех пор, пока не удалось бы вызвать один или несколько вспомогательных локомотивов. Мы абстрагировались от внешних ресурсов, которыми можно было бы располагать в этих исключительных случаях, только для того, чтобы более полно понять способ действия машины и препятствия, которые подъемы могут представлять для локомотива.

Когда подъемы достаточно длинны, так что влияние скорости, приобретенной на предшествующих участках движения, не может сказываться до их верхней части, они влекут за собой необходимость значительно уменьшать вес составов, которые локомотивы могли бы буксировать; если только не окажешься в условиях эксплуатации, позволяющих с выгодой использовать вспомогательные локомотивы. Так, локомотив, который может буксировать на горизонтальной местности 128 тонн полезного веса, сможет буксировать только 60 тонн полезного груза на подъеме в 3 мм/м, 36 тонн на

подъеме в 6 мм/м, 24 на подъеме в 9 мм/м и 17 на подъеме в 12 мм/м. На подъеме в 32 мм/м локомотив уже не смог бы буксировать даже сам себя (со своим тендером).

Предположим, наконец, что после достижения равномерной скорости на горизонтальной площадке или после подъема локомотив достигает вершины спуска; скорость увеличится; ускорение движения будет продолжаться до тех пор, пока скорость не достигнет предельного значения, которое будет меняться в зависимости от длины и крутизны спуска, а также от степени открытия регулятора. Обычно не ставят целью давать составу скорость более 10 м/с; эта скорость может поддерживаться одной силой тяжести, несмотря на сопротивление воздуха, на спуске в 0,0046 м/м. Если, следовательно, спуск равен 0,0046 м/м, будут использовать пар до тех пор, пока прогрессивно существующая скорость не достигнет 10 м/с; и с момента, когда эта степень скорости будет достигнута, регулятор закроют. Если спуск ниже 0,0046 м/м, нужно будет не закрыть, а значительно уменьшить открытие регулятора. Если спуск превышает этот предел, быстрота хода, если она умеряется тормозами, превысит желаемую скорость, без работы локомотива; и она станет тем больше, чем круче спуск; при условии, однако, что спуск имеет достаточную длину. Единственными действующими силами тогда являются сила тяжести и сопротивление воздуха - ускоряющая сила выражается как

$$\frac{dv}{dt} = g\left((i - K) - \frac{u}{m + M}\, v^2\right) \qquad (1)$$

Где g — ускорение свободного падения, i — уклон пути, K — коэффициент трения, $\underline{ug}$ — сопротивление воздуха при движении состава со скоростью 1 м/с, m и M — массы локомотива и остального состава соответственно.

Уравнение пройденного расстояния:

$$d\epsilon = vdt = \frac{1}{g} \cdot \frac{Vdv}{i - K - \frac{u}{m + M}\, v^2} \qquad (2)$$

Если рассчитывать на сопротивление ветра, чтобы остановить конвой на склоне, то $\frac{dv}{dt}$ должен стать равным нулю. Следовательно, ставя $i - k = \frac{K}{m + M} v^2$, мы получим для каждого значения i скорость, с которой установится равномерное движение состава только под действием силы тяжести и сопротивления воздуха.

Если мы вычислим эти значения v, предполагая, что речь идет о составе из 12 вагонов такого веса, что весь состав, включая Локомотив и тендер, составляет 80 тонн, мы найдем, что :

На склоне	0,01	скорость составит	20^m,66	в секунду
----------	0,02	----------	32^m,20	"
----------	0,03	----------	40^m,58	"

Это скорости 18, 29 и 36 лье в час. — Такие скорости, в чем можно убедиться, проведя несколько экспериментов, не обязательно приводят к фатальным последствиям ; но они, по крайней мере, пугающие. — последняя, скорость 36 лье в час, — это та, на которой в конце падения упало бы тяжелое тело с высоты 81 м. Как бы то ни было, следует отметить, что степень скорости, при которой сопротивление ветра уравновешивает гравитационную составляющую, действующую на состав, может быть достигнута только при условии, что уклон имеет определенную длину.

Интеграл уравнения (2), как известно, при условии нулевой начальной скорости, на вершине склона :

$$\epsilon = \frac{1}{xg\ \dfrac{u}{m+M}} \quad I\left[\frac{i-k}{i-k-\dfrac{u}{m+M}\ .\ v^2}\right]$$

где I — неперовый логарифм

Отсюда следует, что в приведенных выше предположениях (предположения о 80-тонном составе из 12 вагонов, отправляющемся с вершины с нулевой скоростью) состав, спускающийся по склону 0,01, достигнет :

Скорость	$5^{м/с}$	когда он преодолеет	$188^{м/с}$
"	$10^{м/с}$	-----"----------"------	$830^{м/с}$
"	$15^{м/с}$	-----"----------"------	$1990^{м/с}$
"	$20^{м/с}$	-----"----------"------	$8600^{м/с}$

Если вместо того, чтобы предполагать нулевую скорость на вершине склона, мы предположим, что она равна 5 м в момент старта (допуская в данном случае, как и в предыдущем, что пар перестает действовать с момента прибытия на склон), мы бы вывели из приведенных выше цифр следующие цифры :

Скорость составит	$10^{м/с}$	после пробега	$642^{м/с}$
"	$15^{м/с}$	---"----------"----	$1802^{м/с}$
"	$20^{м/с}$	---"----------"----	$8412^{м/с}$

Видят, что наклонная плоскость 0,01 должна иметь достаточно большую длину, чтобы состав под действием силы тяжести мог развивать на ней опасную скорость, уклон этого наклона должен составлять более 2000 метров в длину, если за ним следует противоположная или ровная линия определенной протяженности, доставит очень мало неудобств при спуске.

Из обсуждения, в котором мы только что участвовали, почти сами собой вытекают последствия, которые важно не упускать из виду, когда имеешь дело с железнодорожными путями.

В принципе, сколько-нибудь выраженные уклоны очень невыгодны для совершенной эксплуатации линии; но важность представляемых ими неудобств существенно меняется

в зависимости от характера эксплуатации: крутые уклоны, как правило, крайне неблагоприятны для товарных составов, потому что они заставляют значительно уменьшать массу, составляющую каждый состав; они гораздо меньше вредят пассажирским составам, потому что эти составы почти никогда не ходят с полной нагрузкой, всегда располагая избытком силы, который оставляют для трудных участков пути. В последнем случае уклоны имеют следствием лишь уменьшение скорости, которое, если только подъем не слишком длинен, мало сказывается на времени всего пути. – Однако это увеличение времени в пути могло бы в определенных случаях стать заметным, так как время, затрачиваемое на прохождение одного километра на подъеме в 0,003, на 32–34% больше, чем время, необходимое для прохождения горизонтального километра; на подъеме в 0,006 увеличение времени составляет 70% – на подъеме в 0,011 время удваивается.

Во всех случаях следствием уклонов является заметное увеличение расхода топлива.

Уклон определенной крутизны не может, в общем, быть отвергнут только по той причине, что он более или менее крут; потому что, как можно было видеть из предыдущего, важно меньше рассматривать крутизну уклона, чем его положение и длину. Если подъем очень короток и расположен вслед за спуском в противоположном направлении, он будет преодолен, будь он даже очень крутым, без труда и без заметного замедления хода, благодаря скорости, приобретенной составом. Один и тот же подъем данной крутизны и длины может быть доступен или недоступен локомотивам в зависимости от того, в силу своего положения на линии, может ли он быть начат составами с приобретенной скоростью или без нее: так, на Ливерпульской дороге наклонные участки Саттон и Рейнхилл (крутизной 0,0104 на протяжении 2,5 км) преодолеваются локомотивами, тогда как на той же линии, при выезде из Ливерпуля, наклонный участок такого же уклона и такой же длины (0,0113 на 2,2 км) обслуживается стационарными машинами.

Когда крутые уклоны должны быть короткими, было бы удачным обстоятельством иметь возможность расположить их у подножия станций: потому что, на подходе, составы будут гасить свою скорость на подъеме; при отправлении они быстрее наберут скорость хода.

Когда крутые уклоны должны быть длинными, предпочтительнее, наоборот, чтобы станции находились у их подножия, особенно если это станции некоторой важности, потому что составы должны будут там брать вспомогательные локомотивы.

Достаточно быть наведенным на подобные соображения, чтобы самому найти комбинацию, которую следует искать или которой следует избегать в целях экономичной эксплуатации.

Чаще всего, когда обстоятельства это позволят, лучше не принимать никакого уклона, который создавал бы аномалию в общей системе уклонов, принятых на линии. – Однако, если исключение абсолютно необходимо, почти всегда лучше решительно принять

крутой уклон, чем промежуточный, даже если бы при исполнении не пришлось слишком дорого платить за небольшое уменьшение крутизны; особенно если место расположения этого крутого уклона находится недалеко от естественного места стоянки вспомогательного локомотива, потому что дополнительное использование вспомогательного локомотива на крутом подъеме позволит сохранить на всем остальном протяжении линии состав с полной нагрузкой; чего не позволил бы промежуточный уклон, преодолеваемый без подкрепления.

Крутизна подъемов, преодолеваемых локомотивами при обычной эксплуатации, редко превышает 0,010 м/м.

Между 0,01 и 0,03 наклонные участки обслуживаются стационарными машинами, буксирующими на подъем или удерживающими на спуске составы с помощью канатов.

В Англии на железных дорогах большой эксплуатации редко строили наклонные участки с уклоном, превышающим 0,027 или 0,028. – В Бельгии наклонный участок Льежа имеет уклон 0,03 на протяжении 1800 метров. – Американцы пошли гораздо дальше в смелости, можно было бы сказать, в дерзости: у них, на небольших длинах, правда, есть наклонные участки от 100 до 200 миллиметров на метр – это уже слишком полагаться на прочность канатов.

Однако канаты на уклонах обычной крутизны от 0,01 до 0,03 – не единственная причина безопасности для путешественников: если бы канат лопнул, было бы очень легко удержать состав с помощью тормозов и помешать ему набрать опасное ускорение. Трение первого рода, или скольжение железа по железу без вращения, составляет около $^{1}/_{10}$; следовательно, было бы достаточно остановить, постепенно затягивая тормоза, вращение колес одной трети вагонов, составляющих состав, чтобы полностью нейтрализовать составляющую силы тяжести вдоль уклона. Только на дороге, имеющей такие крутизны, благоразумно, как видно, включать в состав поездов большую долю вагонов (от трети до половины), снабженных тормозами.

Можно видеть (рисунок 16) наиболее употребительные устройства тормозов и особенно (рис. 17) тормоз, используемый на дороге Версаль (правый берег) и Сен-Жермен. Применение этих различных типов тормозов имеет недостаток: они изнашивают и расцентровывают колеса. Для наклонного участка Льежа была принята система, которая заставляет, когда хотят затормозить, переносить вес вагонов не на колеса, а на своего рода приставную опору, которая упирается в рельс (рис. 18). Можно будет увидеть описание этой системы в одном из ближайших выпусков «*Annales des ponts et chaussées*».

Немного можно сказать об особых устройствах, требуемых наклонными участками, обслуживаемыми стационарными машинами. Достаточно будет указать способ поддержки канатов или сохранения надлежащего натяжения, несмотря на удлинения или укорочения, которые могут быть следствием усилий, которым их подвергают, или гигрометрических изменений.

Канаты проходят по роликам, которые уменьшают их трение и предотвращают их износ так же быстро, как если бы их волочили по земле (рис. 19). Эти ролики размещаются на расстоянии от 6 до 8 м, их цапфы имеют диаметр от 15 до 25 мм. Диаметр ролика должен быть как можно больше, но так как ролики не должны касаться ни земли, ни низа вагонов, этот диаметр имеет верхний предел, обычно равный 0,40 или 0,45 м. Отношение $\frac{\delta}{D}$ колеблется от $\frac{1}{20}$ до $\frac{1}{30}$; собственный вес каждого ролика составляет от 25 до 30 кг. Вес каната, который они поддерживают (диаметр каната колеблется от 0,035 до 0,060 м), в среднем составляет 18–20 кг.

Когда наклонный участок представляет собой прямую линию, ролик устанавливается вертикально по оси пути (рис. 20); когда он криволинейный, ролики наклоняются так, чтобы направлять канат по кривой (рис. 21).

Трение роликов составляет около $\frac{1}{25}$ от общего веса ролика и каната.

Несколько средств было использовано для поддержания канатов в надлежащей степени натяжения. Мы укажем только способ, примененный на наклонном участке Ливерпуля.

Подъем составов осуществляется с помощью бесконечного каната, к которому их прицепляют. Движение этого каната создается его трением о систему роликов или барабанов, один из которых приводится в движение стационарной машиной. (Почти всегда есть две стационарные машины, предназначенные для взаимной замены в случае непредвиденной остановки или ремонта). Канат проходит сначала по верхнему ручью ролика *A* (рис. 22), имеющего два ручья, охватывает более половины окружности и проходит по верхней части двухручьевого ролика *A′* меньшего радиуса, чем *A*, затем идет вокруг ролика *A″*, огибает его, возвращается на нижний ручей *A′,* затем на нижний ручей *A*, пересекаясь с первоначальным направлением, и, наконец, возвращается наружу, образуя вторую часть веревки, которая спускается по плоскости, когда другая часть поднимается, или наоборот. — Шкив *A″* не фиксирован, как другие; он установлен на подвижной тележке, положение которой изменяется в зависимости от тенденции к удлинению или укорачиванию тросов, и который удерживается другим подходящим грузом I, помещенным в специальную точку.

Стационарные машины, как правило, обходятся дешевле в обслуживании и топливе, чем локомотивы, при равной мощности и для работы в течение того же времени. Но их применение имеет недостаток, заключающийся в необходимости постоянных и непрерывных расходов для временного, случайного использования. Кроме того, всегда есть потеря времени при прохождении наклонных участков, обслуживаемых стационарными машинами; потому что нужно остановить состав, чтобы прикрепить канат. Это причины, чтобы избегать использования наклонных участков, когда обстоятельства это позволяют без слишком больших жертв; беспокойство, которое они обычно внушают путешественникам, безусловно, также является причиной, имеющей определенный вес.

Иногда может показаться более выгодным пробить горный отрог, чем подниматься по нему по наклонному участку.

Для пересечения горных цепей, ограничивающих бассейны определенного порядка, пробивка тоннеля часто становится абсолютной необходимостью: тогда дорогу прокладывают в тоннеле.

Тоннели железных дорог обычно больше, чем те, что строятся для каналов; но есть одно обстоятельство, которое, несмотря на это, иногда делает цены тех и других довольно сравнимыми; а именно: тоннели каналов почти всегда, с целью лучшего обеспечения питания раздельного пункта, проложены ниже уровня грунтовых вод; в то время как железнодорожные тоннели должны быть пройдены как можно выше этого уровня. Понятно, что увеличение расходов, которое необходимо произвести на водоотлив во время строительства первых, в определенной мере компенсирует увеличение затрат, связанное с большим сечением вторых.

Надо сказать, кроме того, что цена проходки тоннеля далеко не пропорциональна, по крайней мере в отношении выемки грунта, площади его поперечного сечения. Для многочисленных тоннелей, которые он пробивал в известняковых скальных породах при строительстве Марсельского канала, г-н де Монрише установил, что проходка первой штольни, сечение которой составляло двенадцать метров, обошлась в 18 франков за кубометр вынутой скалы; в то время как для последующего расширения этой же штольни стоимость выемки кубометра составляла всего 6 франков.

В тоннелях никогда не укладывают подушки или шпалы непосредственно на скальное основание; движение составов было бы слишком жестким. Напротив, скорее уложат большую толщину балласта, чем на любой другой части пути, чтобы обеспечить более полный отвод вод на некоторую глубину ниже рельсов. Обычно оставляют для балласта толщину 0,60 м.

Дымовая труба локомотивов возвышается на 4 м над рельсами.

Отсюда видно, что высота тоннеля большой эксплуатации не может быть меньше 6–6,5 м, если хотят сохранить свободное пространство над трубой машина. Но для вентиляции желательно, чтобы остающееся свободным пространство в верхней части тоннеля было больше. Углекислые газы и сернистые пары, выходящие из трубы, циркулировали бы с трудом в таком малом пространстве, и после прохода одного или нескольких составов в тоннеле нельзя было бы ни дышать, ни видеть. – В последних выполненных или предложенных проектах тоннелям придавали высоту 7,50–8 м. Тоннелям придают почти круговое сечение и обделку (крепь) из каменной кладки в грунтах, которые малоустойчивы и подвержены просадкам под действием вод. Эта мера предосторожности необходима для защиты от бокового и вертикального снизу вверх давления. В некоторых тоннелях, построенных в Англии без принятия этой меры, стены поддались давлению и сблизились; и путь оказался разрушенным.

Когда длина тоннеля несколько велика, становится необходимо через определенные расстояния устраивать вентиляционные шахты для его осветления и осушения. На Бирмингемской дороге, в тоннеле Килсби, длина которого 2200 м, были пробиты две шахты, основание которых образовано полусферическими колодцами диаметром 11 м. Эти две шахты делят длину тоннеля на три части по 700–800 м, каждый интервал разделен на три равные части двумя шахтами меньшего диаметра в основании. Гигантские шахты этого тоннеля – возможно, излишняя предосторожность; но некоторое количество малых шахт было в этом случае и было бы во всех подобных случаях необходимо.

Стоимость строительства тоннелей чрезвычайно изменчива: она зависит от природы проходимых слоев, их направления, их нарушенности, притока вод, длины проходки, высоты шахт, которые нужно пройти для выемки породы, более или менее частой необходимости, которая может возникнуть на протяжении тоннеля, возводить каменную обделку на более или менее значительных участках, и т.д., и т.п...

В некоторых случаях, где обделка необходима, можно ограничиться толщиной в один или полтора кирпича, как, например, когда речь идет лишь о защите сланцев от действия воздуха; в других случаях, например, когда грунт глинистый, придется придавать обделке значительную толщину.

Можно видеть (рис. 23) таблицу, составленную г-ном Минаром, которая дает цену, длину и глубину заложения ряда работ, выполненных во Франции или Англии.

Общие трассы.

Предшествующие указания, кажется, достаточны, чтобы руководить детальными исследованиями, относящимися к выбору и распределению уклонов трассы железной дороги. Что касается общего определения трассы, принимая во внимание топографическую конфигурацию местности, принципы, относящиеся к этому порядку соображений, почти те же, что мы излагали по поводу трассировки обычных дорог в курсе дорог. Только необходимость применения этих принципов в курсе железных дорог более абсолютна, более строга, ввиду гораздо более узких пределов, в которых могут изменяться принимаемые уклоны.

В общем, железные дороги предназначены соединять между собой крупные центры населения, торговли или промышленности. Чаще всего эти крупные центры будут расположены на водотоках первого порядка. Таким образом, почти всегда между нижними склонами различных бассейнов первого или второго порядка должны быть проложены железнодорожные сообщения.

Чтобы перейти из одного бассейна в другой, нужно преодолеть водоразделы. Эти водоразделы должны преодолеваться чаще всего в наиболее пониженных точках хребта, в самых низких седловинах среди тех, которые не слишком отклоняются от направления,

которое по прямой линии было бы назначено линии. Эти седловины соответствуют точкам, отмеченным в направлении, продолженном до водоразделов притоков последнего порядка бассейна: самые низкие будут, в общем, те, которые будут указаны водотоками, проникающими наиболее глубоко в хребет. Почти всегда будет большее или меньшее число решений, между которыми выбор должен определяться не только соображениями удобства и экономии стоимости пути, но и совокупностью политических и социальных соображений. Так, например, чтобы добраться из Парижа в Лион, или скорее из Парижа в Дижон (этот последний город рассматривался как обязательный пункт линии), и перейти из бассейна Сены в бассейн Соны, можно, следуя по Сене до Монтеро, места слияния Сены и Йонны, подняться по одному или другому из этих двух водотоков. В последнем случае, покидая Йонну у устья Армансона, прибывают в Дижон, следуя почти в точности общей трассе Бургундского канала. Если следовать по Сене, прибыв в Марсийи-сюр-Сен, место слияния Сены и Об, предстоит выбор между двумя направлениями; если продолжать подниматься по первому из двух водотоков, следуют по нему до самых его истоков и, перевалив через Сену, спускаются к Соне по малой долине Иньон. Если пойти по Об, прибывают более длинным путем в точку водораздела, довольно близкую к седловине, выбранной в предыдущей трассе, и спускаются к Соне по долине Тий. Каждая из этих трасс, в самом деле, была предложена. Понятно, что самую длинную, по Об, предлагали только ввиду сложных комбинаций: при изучении этой трассы считали, что можно было бы заставить служить, по крайней мере, более или менее долгое время, участок между Парижем и Арси или Бриенном двойной службе железных дорог Париж – Лион и Париж – Страсбург, причем эти две дороги разделялись бы, согласно этой идее, только между Арси и Бриенном. Часто будут представляться случаи, в которых подобные отклонения будут предлагаться: именно в самих элементах каждого специального вопроса должны черпаться мотивы для принятия или отклонения подобных отклонений. Мы не могли бы обсуждать эти мотивы даже для определенного случая, не выходя за рамки данного курса.

Иногда отклонения трассы будут определяться соображениями несколько иного порядка: так, в трассе Авиньон – Марсель закон решил удлинение пути на двадцать с лишним километров, чтобы коснуться Арля; не только, как можно понять, ради удовлетворения требований местности, но по той причине, что Арль является точкой, где заканчивается морское судоходство и начинается речное судоходство, тем самым различным комбинациям, которые могли бы быть приняты для перевозок всякого рода, осуществляемых в долине водным или сухопутным путем, комбинациям, которые должны будут меняться в зависимости от состояния реки, была бы предоставлена гораздо большая свобода, чем если бы железная дорога покидала Рону в более высокой точке ее течения, точке, куда товары, прибывающие из низовьев реки или из портов Средиземного моря, могли бы прибыть только после перегрузки с каботажных судов на речные суда.

Мы не можем настаивать на этих соображениях; достаточно их указать.

В общем случае, после определения седловин перехода из одного бассейна в другой, следует добираться от пункта отправления до этой седловины, следуя по притокам различных порядков, которые ведут туда кратчайшим путем. Почти всегда таким образом будут обслуживаться наиболее важные интересы: общее сообщение и местное сообщение между наиболее населенными центрами, так как эти центры почти всегда расположены на водотоках.

По мере подъема вверх по долинам меньшего значения будут встречаться более крутые уклоны; и вблизи водораздела уклоны могут оказаться невозможными для преодоления. Именно ввиду трудностей, которые должен представлять водораздел, может быть уместно подниматься задолго заранее по склонам долин последнего порядка, по которым добираются до этих водоразделов, чтобы распределить подлежащую преодолению высоту на большее расстояние. С этой предосторожностью будет возможно в некоторых частных случаях перейти без тоннеля из одной долины в другую, принадлежащую другому бассейну. Когда строительство тоннеля будет необходимо, возможно, что следует выбирать не самую пониженную седловину, а скорее ту часть хребта, где толщина проходимой толщи будет наименьшей. Однако почти ни в коем случае высота водораздела над уровнем тоннеля не должна считаться безразличной, так как расходы на проходку зависят во многих отношениях, как можно заключить из сказанного ранее, от этой большей или меньшей высоты.

При входе и выходе из тоннелей дорога всегда проложена в более или менее глубоких выемках; это неудобство, которого невозможно избежать. Но чего следует избегать по возможности и что, однако, не всегда легко избежать в трассировке железных дорог, где нужно так строго выдерживать узкие пределы уклонов и кривизны, – это входить в сколько-нибудь глубокие выемки на склонах холмов, особенно когда подстилающие грунты глинистой природы; это может повлечь значительные повреждения, как это, не говоря о других подобных случаях, произошло на горьком опыте на дорогах, построенных у ворот Парижа.

Большое число соображений, которые были развиты в курсе дорог о более или менее значительных преимуществах, которые можно найти в размещении трассы на большей или меньшей высоте над дном долины и в выборе ее экспозиции в соответствии с определенными принципами, в зависимости от климата или природы грунта, в определенной мере применимы к железным дорогам. Но так как железные дороги в 25–30 раз дороже обычных дорог и, следовательно, могут быть построены только там, где их требуют самые мощные интересы, легко понять, что соображения, которые могут быть преобладающими для определения смещения трассы дороги, считаются совершенно второстепенными, когда речь идет о железной дороге. Нужно, однако, сохраняя каждому интересу его порядок важности, никогда не упускать из виду и жертвовать только в случае крайней необходимости теми условиями, которые важны для прочного и экономичного строительства работ проектируемого пути сообщения.

Мы имели в виду главным образом во всем вышеизложенном большие линии, предназначенные для общего сообщения пассажиров и товаров. Существуют дороги, которые строятся для специальных производств и трасса которых по этой самой причине должна подчиняться особым условиям. Таковы дороги, связывающие крупные горнодобывающие предприятия с общими путями сообщения; и, например, с реками и каналами: можно упомянуть, среди прочих, дорогу Сент-Этьен, Рив-де-Жье, Дарлингтон – Стоктон, Болтон и др. – В подобном случае почти всегда речь идет о том, чтобы доставить с более или менее возвышенной точки в некоторую гораздо более низкую точку значительную массу громоздкой продукции, извлеченной из шахты, и поднять обратно почти порожними вагоны, которые служили для спуска этой продукции. Тогда можно, если местность позволяет, принять достаточно крутые уклоны, чтобы составы спускались без чрезмерного увеличения скорости под единственным действием силы тяжести, и производить подъем лошадьми, спущенными в вагонах с предыдущим составом; или, если естественные уклоны местности таковы, что можно с выгодой использовать локомотивы, определить трассу так, чтобы машины функционировали, прилагая почти то же самое тяговое усилие, когда они буксируют на спуске груженые вагоны или на подъеме порожние вагоны. Это задачи, которые с помощью данных ранее указаний будут без труда решены в каждом конкретном случае.

Когда участки, на которых должны осуществляться спуск и подъем, достаточно коротки, чтобы на них можно было установить подобную систему, используют силу тяжести, увлекающую груженые вагоны на спуск, для подъема порожних вагонов; для этого достаточно прицепить оба состава, один помещенный на вершине участка, другой – у его подножия, на двух разных путях, к концам каната, наматывающегося на направляющий шкив (рис. 24). Эта система составляет то, что в Англии называют «Self-acting» (самодействующая), а во Франции обозначают термином «plan automoteur» (самодвижущийся уклон).

О неудобствах и опасностях, проистекающих из соединительных кривых, и о средствах, предложенных для облегчения движения составов по кривым малого радиуса.

В повозках гужевого транспорта, которые движутся по обычным дорогам, колеса подвижны вокруг осей; задняя ось жестко соединена с кузовом повозки, передняя ось, напротив, связана с ним только вертикальным болтом, проходящим через ее середину, который называют шкворнем; наконец, передние колеса имеют довольно малый диаметр, чтобы, поворачиваясь вокруг шкворня, они могли более или менее глубоко заходить под кузов повозки.

Согласно этому устройству, четырехколесный экипаж всегда может быть установлен на любой кривой (лишь бы радиус не стал слишком мал) таким образом, что оба колеса

одной стороны, находясь на кривой, располагаются так, что каждая ось направлена по нормали к кривой в точке, занимаемой колесом (рис. 25). Если в таком положении повозки приложить к середине передней оси тяговое усилие, перпендикулярное этой оси, каждое наружное колесо опишет элемент кривой, а каждое внутреннее колесо – элемент концентрической кривой; таким образом, пути, пройденные серединами осей, будут одинаковы, но относительная длина элементов, описываемых колесами одной и той же оси, будет пропорциональна расстояниям между колесами и соответствующим центром кривизны. Тяга, передаваемая задней оси дышлом, образующим с этим дышлом угол, равный углу схождения двух осей, будет стремиться во время движения удерживать заднюю ось в положении, нормальном к кривой; и, следовательно, если после прохождения первого элемента сила тяги (всегда направленная параллельно элементу, в начале которого находится передняя ось) продолжает действовать, колеса опишут таким же образом второй элемент; и последовательно повозка пройдет всю кривую, не вызывая ничего, кроме трения (скольжения) на наличниках или подушках передней оси, трения первого рода (скольжения) в буксах осей и трения второго рода (качения без скольжения) по окружности колес.

Было видно, по каким причинам желательно, даже в неблагоприятных для движения по кривым условиях, не допускать на обычных дорогах кривых слишком малого радиуса. Но также было видно, что эти кривые, будучи естественно очень короткими и обычно очень немногочисленными на значительных протяжениях пути, в общем не составляли достаточного препятствия, чтобы вызвать уменьшение нагрузки.

На железных дорогах дело обстоит совсем иначе: так как радиусы кривых на этих путях должны быть гораздо больше, чем на обычных дорогах, эти кривые чаще всего имеют очень большое развитие, и их совокупность иногда составляет очень заметную долю длины линии. Так как, кроме того, увеличение тяги там очень ощутимо, они могут стать и часто становятся причиной уменьшения скорости или нагрузки. Увеличение тяги связано с жестким трением, которое оказывают на верхнюю поверхность рельсов почти горизонтальная часть бандажа некоторых колес, а на боковую сторону рельсов – реборды, удерживающие колеса на рельсах.

В отличие от того, что имеет место на обычных дорогах, колеса вагонов или платформ, движущихся по железным дорогам, закреплены на оси; и колеса одной и той же оси имеют, следовательно, согласованное движение. Так как, кроме того, оси удерживаются в неизменном положении относительно кузова вагона или платформы буксами, в которые они заключены, оси одного и того же вагона остаются постоянно параллельными друг другу. Из этого двойного устройства следует, что если четыре колеса вагона имеют одинаковый диаметр, они, катясь, должны проходить точно одинаковый путь. Так как на кривых наружные колеса должны проходить больший путь, чем внутренние, необходимо, чтобы мгновение за мгновением происходило скольжение с жестким трением, которое давало бы наружным колесам избыток пути, в котором они нуждаются. Это скольжение неизбежно вызывается боковой реакцией

рельсов на реборды наружного переднего и внутреннего заднего колес; оно частично затрудняется действием центробежной силы и облегчается действием центростремительной силы, возникающей из-за косого направления тяги. Оно, кроме того, смягчается коничностью бандажа колес.

Увеличение сопротивлений, связанное с этим увеличение износа колес и рельсов, а также опасность того, что под комбинированным действием центробежной силы и вибрации рельсов локомотив или какой-либо вагон мог бы сойти с пути по касательной, перевалив через наружный рельс, до сих пор побуждали generally не принимать на участках железной дороги, которые должны проходиться с большой скоростью, кривые радиусом менее 500 метров. Это условие, вместе с условием предельного уменьшения уклонов, создает в узких и глубоких долинах очень большие трудности для трассировки и экономичного строительства железных дорог.

Были предложены различные средства для устранения неудобств, связанных с жесткой связью колес на осях и параллельностью осей, и, следовательно, для возможности принятия кривых меньшего радиуса.

Г-н Леньель, инженер-механик, предложил заставлять на кривых реборду наружного колеса подниматься на расширение рельса, удерживая при этом эту реборду возвышением остальной части рельса (рис. 26). Благодаря этому устройству, если внутреннее колесо изолированной оси описывает кривую радиуса $\overline{R}$, где l – ширина колеи, r – радиус колес, h – высота реборды, наружное колесо естественно описывает путем качения без скольжения окружность, радиус которой $l + R = l + \frac{r \cdot l}{h}$; и радиус, который должны иметь все кривые на той же трассе, постоянен и равен, если измерять его от середины пути, $\frac{l}{2} + \frac{rl}{h}$

Эта система остроумна и имеет то особое преимущество, что, одновременно в определенной мере устраняя жесткую посадку колес на осях, она создает подъемом наружного колеса поперечную составляющую силы тяжести, которая более или менее уравновешивает действие центробежной силы. – Уже известно, что возвышение рельса допускается в обычной практике железных дорог для создания подобного эффекта. Но против общего применения этой системы можно выдвинуть соображения, которые представляются серьезными.

Нужно заметить прежде всего, что параллельность осей не устранена и всегда препятствует тому, чтобы каждая из осей одного и того же вагона имела подходящий для нее центр вращения; комбинация г-на Леньеля устраняет только одно из двух неудобств, создаваемых современным способом постройки локомотивов и вагонов. Если бы скольжения не проявлялись заметным образом (а не похоже, что это было так) в опытах, которые этот механик частично провел, это могло бы быть только потому, что он оставил осям грубо построенной тележки, которую он использовал в этих опытах, достаточно люфта в буксах, чтобы они могли принимать сходящееся положение; и совершенно ясно,

что подобное устройство представляло бы серьезную опасность при его применении к вагонам, движущимся по железным дорогам с большой скоростью.

Во-вторых, неизменность радиуса кривых является реальным неудобством: без сомнения, всегда можно образовать кривые, составленные из ряда круговых частей и прямых участков, общая форма которых не слишком отклоняется от трассы, определенной непрерывной окружностью какого-либо радиуса. Однако понятно, что это не позволяет следовать извилистым очертаниям узких долин настолько, насколько это было бы необходимо, чтобы избежать необходимости больших перемещений грунта.

В-третьих, возвышение, которое подходило бы наружному колесу локомотива, не то же самое, которое необходимо наружным колесам вагонов для описания окружности того же радиуса. Все колеса состава должны были бы иметь одинаковый диаметр и одинаковую высоту реборды.

В-четвертых, окружность, которая описывалась бы изолированной осью благодаря качению по реборде, была бы, ввиду размеров, придаваемых ныне колесам, колее и ребордам, около 35 м; из-за параллельности осей окружность, естественно описываемая в тех же условиях четырехколесным вагоном, была бы, без сомнения, 70–80 м. Весьма сомнительно, чтобы решились проходить при ежедневной эксплуатации подобные кривые с очень большими скоростями, и однако в предложенной системе нельзя было бы увеличить эти кривизны в подходящих пропорциях (до 150–200 м), не уменьшая высоту реборд или не увеличивая диаметр колес больше, чем это возможно. По этим причинам не кажется, что система г-на Леньеля может быть с выгодой применена на участках железной дороги, проходимых с большой скоростью; но она безусловно может быть очень полезна (особенно потому, что не требует никакой модификации подвижного состава) на вокзалах и generally на всех второстепенных служебных путях.

Г-н Арну, бывший студент Политехнической школы и администратор компании Messageries Lafitte et Caillard, предложил систему, которая возвращает колесам подвижность вокруг осей и обеспечивает осям схождение, соответствующее радиусу кривых. Он сделал больше: он потратил значительные суммы, чтобы провести крупномасштабное испытание этой системы с локомотивом и вагонами, построенными специально для этого, на железной дороге, проложенной с этой целью в Сен-Манде, образующей замкнутый круг и проложенной так, чтобы иметь уклоны и горизонтальные участки, а также прямые части и кривые различных радиусов, вплоть до участка окружности радиусом 50 метров. Многочисленные опыты, проведенные на скорости 10 льё в час, показали, что комбинации, придуманные г-ном Арну, действительно достойны внимания инженеров.

Согласно этой системе, каждый вагон состоит из передней и задней тележек. В каждой тележке ось пронизана шкворнем, вокруг которого она может поворачиваться.

Горизонтальный круг (корона), прикрепленный к ней на той же оси, что и шкворень. Колеса свободны на шейках осей.

Две тележки соединены дышлом, к концам которого снизу прикреплены пластины, концентричные шкворням, которые вращаются с малым трением по кругам. Круги, составляющие одно целое с осями обеих тележек, имеют одинаковый диаметр.

Цепи, прикрепленные к окружности кругов таким образом, что они перекрещиваются под дышлом, соединяют эти две оси и заставляют их двигаться одновременно и в противоположных направлениях вокруг шкворней, образуя с их первоначальными направлениями углы, одинаковые по величине и равные половине угла схождения.

Вагоны связаны друг с другом:

1° Дышлом, проходящим через шкворень задней тележки предыдущего вагона и через шкворень передней тележки следующего;

2° Двумя цепями, перекрещивающимися под дышлом и прикрепленными одним концом к окружности круга передней тележки второго вагона, а другим концом – к окружности круга подходящим образом определенного радиуса, закрепленного на дышле первого вагона и проходимого шкворнем задней тележки.

Таким образом, на каждом вагоне имеется три горизонтальных круга: два одинакового радиуса закреплены на осях, а третий, generally другого радиуса, составляет одно целое с дышлом задней тележки.

Из этого последнего расположения следует, что дышло первого вагона не может изменить направления, не вызывая одновременно изменения направления осей второго вагона; и, определяя подходящим образом радиус малого круга, оси второго вагона будут, как и оси первого, нормальны к кривой, по которой движутся оба вагона.

Предположим, что дышла вагонов равны дышлам тележек, как это оказалось установленным для большинства вагонов, испытанных г-ном Арну на испытательной дороге в Сен-Манде; круги, составляющие одно целое с дышлом на задних тележках вагонов, должны иметь радиус вдвое меньший, чем круги осей.

Действительно, пусть AB – дышло первого вагона, BC – положение, которое займет дышло второго на кривой ABC, промежуточной между двумя рельсами; угол, который образуют линия AB и продолжение BK линии BC, вдвое больше угла, который каждая из этих линий образует с касательной к окружности в точке B.

Однако $e'e'$ положение первой оси второго вагона, которое должно сходиться к центру и быть нормальным к окружности ABC в точке C, будет составлять со своим прежним положением, перпендикулярным CB'', угол, равный половине угла BCB'', который равен углу KBA, на который повернулось дышло первого вагона относительно дышла второго.

Следовательно, чтобы сделать первую ось второго вагона нормальной к кривой, нужно сообщить этим осям угловое перемещение, равное половине относительного углового перемещения дышла и дышла; и для этого достаточно прикрепить, как было

сказано, к дышлу первого вагона, на задней тележке, круг радиусом, равным половине радиуса круга передней тележки следующего вагона, и сделать движения этих кругов согласованными с помощью перекрещенных цепей системы Вокансона.

Для завершения системы, придавая направление схождения первой оси первого вагона, четыре ролика, подвижных вокруг вертикальных осей и расположенных парами на концах железных вилок, помещенных под передней осью машины, упираются своими желобами во внутренние грани рельсов и удерживают эту первую ось в положении, постоянно перпендикулярном рельсам.

Эти комбинации, безусловно, очень остроумны и легки в применении. Тем не менее, они представляют серьезные недостатки, которые мы перечислим:

1° Все колеса связаны между собой: следовательно, когда состав наполовину выйдет из кривой или наполовину войдет в нее, действие соединительных цепей, стремящееся привести оси задних вагонов в относительное положение, подходящее для кривизны в точке, где находятся передние, вызовет значительное боковое трение. Но это лишь зло, которое дает о себе знать только в течение очень короткого времени.

2° Требуется гораздо больше времени, чем в современной системе, чтобы увеличить или уменьшить число вагонов, составляющих состав.

3° Состав может двигаться только в одном направлении, во-первых, потому что направляющие ролики есть только спереди, во-вторых, потому что для изменения направления нужно было бы также изменить передачу движения через круги, которые должны были бы быть расположены в обратном порядке. Таким образом, нельзя двигаться задним ходом.

4° На вокзалах и на служебных путях то и дело случается, что нужно подать вперед или назад вагон, чтобы отделить его от состава или присоединить к нему; эти изолированные вагоны больше не будут иметь ничего, что направляло бы их оси, и, следовательно, они не смогут быть направлены и удержаны на рельсах.

5° Система движется в некотором роде как единое целое; сила инерции, которую она окажет при трогании с места, может быть достаточно велика, чтобы ведущие колеса проскальзывали по рельсам. В современной системе вагоны могут более или менее отдаляться и сближаться друг с другом благодаря гибкости цепей и пружин, которые их соединяют. Обычно в момент отправления цепи ослаблены; в результате сила тяги машины воздействует на второй вагон только после того, как привела в движение первый; на третий – только после того, как увлекла два предыдущих, и так далее последовательно.

   В системе Арну, напротив, вся масса должна быть приведена в движение одним усилием; и должно часто случаться, что это усилие превышает пределы силы сцепления.

6° Колеса подвижны вокруг шеек осей, что приводит к необходимости придавать этим шейкам диаметр, гораздо больший, чем тот, который принят для цапф осей

современных вагонов, и что, следовательно, значительно увеличивает работу трения. Этот недостаток очень серьезен, так как ведет к прямому следствию: для смягчения неудобств кривых, которые в общем составляют меньшую часть длины железной дороги, в сильной пропорции увеличивается усилие тяги машины на всем остальном протяжении линии.

Это не только теоретическое предвидение. Применяя упомянутый манометр со стилусом к машине в опытах, проведенных в Сен-Манде, было найдено, что среднее усилие, прилагаемое локомотивом, буксирующим пять вагонов общим весом 17 049 кг, составляло 130 кг; оценивая отдельно влияние уклонов, из этого результата выводят, что усилие, прилагаемое на кривой, предполагаемой горизонтальной, было около 5,6 кг на тонну. Это усилие вдвое превышает то, которое получается при использовании обычных вагонов на прямой линии на горизонтальной местности. Без сомнения, возможно, что кривые малого радиуса, которые были на испытательной дороге в Сен-Манде, способствовали повышению цифр тяги; но невозможно не отнести наибольшую часть этого увеличения усилия за счет увеличения диаметра шеек осей: недостаток, который, кажется, присущ системе и который представляется нам очень серьезным.

Если взвесить эти возражения и, в особенности, третье и последнее, то, без сомнения, подумают, что система Арну, несмотря на ее неоспоримые достоинства, не будет пригодна для применения в обычной эксплуатации до тех пор, пока не получит значительных усовершенствований.

В следующей системе (система Уилбэка) ложная ось, проходящая через шкворень каждой тележки вагона, несет две полуоси, на которых закреплены колеса (рис. 26). Таким образом, одновременно реализуются два условия: подвижность вокруг вертикальной оси и связь колес с осями.

Для определения схождения две тяги, одна прикрепленная к оси передней тележки, другая – к оси задней тележки, входят в зацепление с зубчатым колесом на вертикальной оси. Движение этого колеса в ту или иную сторону сближает или раздвигает точки A и A' крепления двух тяг на осях и заставляет оси образовывать одинаковый угол со своими первоначальными направлениями.

Движение сообщается этому колесу с помощью конической шестерни, рукоятка которой выступает за боковую плоскость вагонов. Толкатели, поднимающие или опускающие рукоятку на нужную величину, помещаются в начале и в конце каждой кривой и вызывают движение. Пружина, упирающаяся в зубчатую передачу, не позволяет осям смещаться под каким-либо иным воздействием, кроме толкателя.

Применение этих толкателей представляет серьезный недостаток: оно требует удара, которого следует избегать с чрезвычайной осторожностью в обстоятельствах, когда речь идет об огромных массах, движущихся с большой скоростью. Зубчатые передачи постоянно ломались бы. Это опасное средство может, кроме того, быть неэффективным, потому что возможно, что рукоятка не достигнет толкателя во время какого-либо из тех

колебательных движений, которые до сих пор столь обычны для локомотива на железной дороге.

Если бы эта система была достаточно усовершенствована, чтобы стать общеупотребительной, она имела бы перед предыдущей то большое преимущество, что могла бы быть применена ко всей линии или ее части, не требуя почти полной перестройки всего подвижного состава.

Было представлено несколько других, среди которых можно упомянуть системы г-д Шено и Веррье. Но нет необходимости обсуждать в настоящее время достоинства этих различных систем, все из которых остались в стадии проектов.

Устройство пути

Есть несколько существенных вещей, которые следует рассмотреть в вопросах, относящихся к устройству пути, а именно:

1° Ширина колеи;

2° Способ устройства пути;

3° Расстояние между опорами и размеры рельсов;

4° Форма рельса и системы скрепления.

Мы рассмотрим последовательно эти различные вопросы.

1° Ширина колеи.

На железных дорогах, построенных до сих пор во Франции (по крайней мере, на тех, которые имеют определенное значение), расстояние между рельсами было установлено в 1,50 м между осями или 1,44 м между внутренними краями рельсов.

Экономия, которую дает торговле осуществление перевозок без перегрузок на очень большом протяжении пути, делает почти необходимостью принять эту же ширину колеи для всех дорог, которые должны быть поставлены в прямое сообщение с уже построенными дорогами.

Важность этого соображения станет понятной, если заметить, что в каждом пункте, где грузы должны быть перегружены из одного вагона в другой, приходится нести расходы по содержанию экспедиторов-наблюдателей, расходы на перегрузку (перевалку) из одного вагона в другой и расходы на приведение в порядок бочек, мешков, холстов и т.п., которые упаковывают или в которые помещают товары и которые неизбежно повреждаются при частом перекладывании перевозимых предметов.

Эти расходы, которыми иногда недостаточно считаются, имеют такое значение, что на длинных водных транспортных линиях общая стоимость перевозки, учитывая эти дополнительные расходы, может стать равной и даже превысить (не включая в оценку

ни плату за проезд на отправлении, ни на прибытии) стоимость перевозки, осуществляемой без перегрузки по железной дороге.

Этот мотив придания всей линии одной сети одинаковой ширины колеи является определяющим соображением для сохранения ширины 1,50 м, принятой до сих пор.

И все же, возможно, достойно сожаления, что первоначально была принята слишком ограниченная ширина, которая, вынуждая сжимать детали механизма локомотива в слишком узком пространстве, становится одной из главных причин огромных расходов на ремонт машин, в которые мы оказываемся вовлечены. Эти расходы, в самом деле, составляют очень большую часть общих расходов и поглощают значительную долю валового дохода от взимаемой платы за проезд.

А все английские инженеры-строители согласны в том, что, придав немного больше ширины колее, увеличив ее на 15–16 сантиметров, можно было бы придать этим деталям достаточно прочности и достаточно люфта, чтобы в результате получить очень значительную экономию на расходах по ремонту.

Увеличение ширины имело бы еще одно преимущество: оно обеспечило бы большую устойчивость вагонов, колеса которых были бы дальше разнесены; позволило бы, следовательно, увеличить диаметр этих колес без уменьшения устойчивости на колее; и, следовательно, увеличить скорость, не умножая сверх всякой меры число колебаний поршня.

Дорога Лондон – Бристоль имеет ширину колеи 2,20 м и ведущие колеса диаметром 7 или 8 английских футов. Так, без усилия достигают там обычной средней скорости 10–12 льё в час.

Можно думать, что ширина колеи Бристольской дороги преувеличена, потому что она влечет за собой как необходимое следствие слишком большое усиление осей, слишком большое увеличение веса вагонов и, следовательно, очень дорогостоящее увеличение веса рельсов. Она также требует заметного увеличения радиуса кривых.

Но, возможно, было бы, не впадая в это преувеличение, некоторое преимущество в том, чтобы уступить в увеличении ширины колеи, которого требуют строители машин.

Впрочем, это изменение могло бы быть сделано без необходимости вносить в размеры, принятые ныне для строительства дороги, каких-либо заметных изменений.

Достаточно было бы взять те 15 сантиметров, которые были бы добавлены к каждому пути, из нынешней ширины междупутья, которая была бы уменьшена с 1,80 м до 1,50 м.

Единственная трудность, которая могла бы воспрепятствовать принятию подобного изменения, проистекла бы из очень большой величины расходов на замену подвижного состава; но эта трудность серьезна, и, возможно, прогресс, ежедневно достигаемый в устройстве машин, приведет к решению проблемы быстрой, надежной и экономичной перевозки путем усовершенствования механизма локомотивов прежде, чем найдут в увеличении колеи достаточно большой интерес, чтобы произвести расходы, к которым изменение ширины колеи неизбежно бы привело.

2° Способ устройства пути.

Рельсы должны сохранять свою высоту, параллельность и совпадение уровней в стыках – существенные условия для движения, тем более трудно выполнимые, чем больше масса и скорость транспортных средств.

Сначала рельсы укладывали на каменные подушки (лежни) размером 0,30 × 0,30 м и толщиной 0,20 м, расположенные центрами на расстоянии 90 см друг от друга. Вскоре заметили, что подушки таких размеров не имеют достаточной опорной площади на грунте; и увеличили поверхностные размеры подушки до 0,60 × 0,60 м, а толщину до 0,30 м. Несмотря на это изменение, подушки, не имея между собой иной связи, кроме той, которая могла проистекать из их соединения поддерживаемыми рельсами, продолжали наклоняться либо в направлении рельса, либо вбок, вызывая волнообразные изменения положения рельса в вертикальной плоскости и в плане. Если бы волны были одинаковы на обеих рельсовых нитях, составляющих путь, неудобство было бы уже очень серьезным; но так как две нити не были связаны между собой, они скорее должны были испытывать противоположные эффекты, чем сходные и одновременные; следовательно, ширина колеи могла бы сильно измениться и повлечь за собой либо значительное увеличение бокового трения, либо опасность схода с рельсов. Для частичного устранения этого недостатка связанности подушек одной линии было предложено связывать эти подушки цементной кладкой; но непрерывные колебания, вызываемые проходом составов, вскоре разрушили бы массивы кладки, так как растворы не способны приспосабливаться ко всем этим движениям, не теряя присущей им способности к цементации. То, что нужно было найти, – это тело для размещения между рельсами и грунтом, которое одновременно удовлетворяло бы следующим условиям: иметь достаточную опорную площадь на грунте, обеспечивать как можно большую связь между двумя рельсовыми нитями и обладать такой жесткостью и упругостью, чтобы, не вызывая сильных ударов, оно твердо противостояло слишком заметным просадкам. Дерево прекрасно удовлетворяло всем этим условиям: поэтому, несмотря на его недостаток, заключающийся в том, что оно подвержено более или менее быстрому гниению и, следовательно, требует более или менее частой и более или менее дорогостоящей замены, оно теперь предпочитается большинством строителей железных дорог. Дерево использовалось в виде шпал, связывающих две нити (рис. 28). Это самая обычная система, используемая сейчас; оно также использовалось в виде продольных лежней (лаг), поддерживающих рельс каждой нити непрерывно, причем расстояние между этими лежнями поддерживается через определенные промежутки поперечными деревянными или чугунными элементами и железными стяжками. Это способ, который первоначально предпочитали в Америке (рис. 29). В этой последней системе, по нашему мнению, следует рассматривать совокупность продольных лежней и поперечин как составляющую несущую часть пути, а железную полосу, накладываемую на внутренний край продольных лежней, как имеющую единственной целью снизить сопротивление качению до цифры, соответствующей качению железа по железу. Понятно, что в стране,

покрытой лесами, где дерево было очень дешево, а железо – относительно очень дорого, подобная система должна была иметь очень большие преимущества. Вероятно, что в некоторых местностях наших европейских стран этот способ также мог бы быть очень полезным. Возможно, слишком поспешили отказаться от этой системы, приняв повсеместно решения, которые неизбежно влекут за собой гораздо более высокие расходы.

На дороге Лондон – Бристоль, где с самого начала было введено много новшеств, приняли одновременно продольные лежни, поперечины и поперечные железные стяжки, а также рельс особой формы (рис. 30), сечение которого было не меньше, чем у рельсов, обычно применяемых на дорогах, где нет продольных лежней. Кроме того, сочли уместным опереть продольные лежни на оголовки свай, расположенных через определенные промежутки и полностью погруженных в грунт. Эта попытка сваями не была удачной: каждая головка сваи представляла собой более прочную точку, чем любая другая точка линии продольного лежня, и при проходе составов возникало вертикальное колебание от одной головки сваи к другой, и непрерывность и регулярность этих колебаний производили на пассажиров неопределимое ощущение дискомфорта, очень похожее на морскую болезнь. Пришлось убрать эти сваи. – Можно также думать, что было расточительно одновременно применять прочные продольные лежни и рельсы большого веса: не кажется, что строитель этой дороги, который, однако, является выдающимся инженером, достаточно отдавал себе отчет в конкретном действии, которое он намеревался получить от каждой из частей своей системы. Кажется, следовало либо не класть продольные лежни, либо заметно уменьшить вес железа.

Сегодня способ устройства пути, применяемый почти исключительно, – это тот, который был описан применительно к железной дороге Орлеан: этот способ заключается в использовании рельсов такого сечения, чтобы они могли выдерживать без слишком сильного изгиба вес транспортных средств, которые должны двигаться по пути; в соединении двух рельсовых нитей, составляющих путь, деревянными шпалами, имеющими достаточную опорную площадь; и в опирании этих шпал на толстый слой песка, который дополнительно распределяет, благодаря свойствам, присущим этому веществу, давление, воспринимаемое этими шпалами, на большую площадь нижележащего грунта.

3° О расстоянии между опорами и весе рельсов.

Со времени строительства Ливерпульской железной дороги проявилась, возможно, ошибочная тенденция: одновременно с постоянным увеличением веса локомотивов прогрессивно увеличивать расстояние между шпалами и вес рельсов. Так, длина рельса в 15 английских футов (4,50 м), которая на Ливерпульской дороге была разделена на пять интервалов по 3 фута (0,91 м), при строительстве Лондон-Бирмингемской дороги была разделена только на четыре интервала, а вес увеличен с 55 до 70 английских

фунтов. Но вскоре на этой последней дороге заметили, что, несмотря на увеличение веса рельсов и учитывая соответствующее увеличение веса машин, расстояние в 1,12 м было слишком велико; и восстановили деление на пять на большей части линии.

Под нагрузкой в покое стрелы прогиба, которые могут принимать элементы, опертые или защемленные на опорах, прямо пропорциональны кубам расстояний между опорами и обратно пропорциональны кубам высот и первой степени ширин элементов. В случае, если ширина элементов оставалась бы той же, нужно было бы, следовательно, чтобы иметь те же стрелы прогиба, чтобы высоты, а следовательно, и веса росли в том же отношении, что и расстояния между опорами. В случае, если ширина не была бы той же, и если бы, например, предположить, что сечения являются подобными фигурами, нужно было бы, чтобы вес рос в отношении 4 к 5, именно в отношении 9 к 10 будут изменяться площадь сечения и, следовательно, вес элементов. Если рассчитать на этих основах, исходя из известных цен, себестоимость погонного метра железнодорожного пути в двойном предположении деления на четыре и на пять интервалов, то увидят, что имеется экономия в строительстве при предпочтении деления на пять.

Эта оценка предполагает, что не следует допускать больших стрел прогиба для одного расстояния, чем для другого; это предположение основано на том, что движение состава становится тем менее приятным для пассажиров, вызывает тем более вредные последствия для экономичного содержания дороги и локомотивов и требует тем большего тягового усилия, чем сильнее вертикальные колебания: следовательно, необходимо не позволять этим колебаниям развиваться до выхода за определенные пределы. Именно это принимает предшествующая краткая оценка.

Длина рельса (4,50 м) не должна делиться на равные интервалы. Известна вся разница в сопротивлении твердого тела, просто положенного на две опоры или полностью защемленного. Для железнодорожных рельсов ни одна часть не может рассматриваться как абсолютно защемленная или как просто лежащая на опорах; но несомненно, что части середины каждой длины рельса находятся в условиях, гораздо более сравнимых с теми, которые составляют защемление, чем концевые части: следовательно, следует уменьшать длину расстояния между опорами по мере удаления от середины. Длины 0,70 – 1,00 – 1,10 – 1,00 – 0,70 м, казалось бы, очень целесообразно принять для пяти участков рельса.

4° Форма рельсов.

Кратко рассмотрев способ устройства пути, ширину колеи и расстояние между опорами, нам остается рассмотреть различные формы рельсов и различные системы скрепления, которые можно применить на железной дороге.

Первые рельсы, которые использовались главным образом для перевозки товаров, были чугунными, состоящими из плоской горизонтальной части шириной 0,09 м и

толщиной 0,02 м, с вертикальным верхним гребнем высотой 0,04 м (рис. 31), а иногда и с нижним вертикальным ребром высотой 0,07 м посередине, сходящим на нет к концам (рис. 32). Горизонтальная часть несла колесо, верхний гребень предотвращал сход колеса с рельса, наконец, вертикальная часть снизу имела единственной целью усилить первую.

Эти рельсы крепились к деревянным продольным лежням гвоздями с потайными головками; или же их крепили к каменным подушкам железными шпильками, которые забивали в деревянные пробки, предварительно вставленные в подушки.

Сейчас отказались от этой формы рельсов, потому что она способствует задерживанию пыли, грязи и воды в желобе; это увеличивает трение и ускоряет порчу чугуна; кроме того, система крепления с помощью гвоздей имеет серьезные недостатки: изменения температуры вызывают натяжения на головке гвоздя, которая вскоре отрывается, если только рельс не изгибается; а когда этот рельс получает небольшую стрелу прогиба под нагрузкой вагона, гвоздь сначала стремится подняться, но вскоре сплющивается проходящим колесом: эти противоположные движения в конце концов ломают головку шпильки, и рельс теряет устойчивость. Тот же недостаток проявляется еще на американских железных дорогах, которые состоят из продольных лежней, к которым прибиты рельсы гвоздями.

Отказавшись от этой системы, приняли рельсы, сечение которых имело форму Т (рис. 33) и которые по своей длине имели снизу форму балок равного сопротивления (рис. 34). Но вскоре отказались для дорог с большой скоростью от чугунных рельсов и заменили их катаными железными рельсами, которые имеют перед предыдущими многочисленные преимущества.

1° Чугунные рельсы часто и внезапно ломаются.

2° Им нельзя придать длину, превышающую расстояние между двумя опорами, потому что чугун, будучи малопластичным, не позволил бы надежно опереть эти рельсы более чем на две подушки сразу; так как каждый конец рельса имел лишь очень малую длину, вертикальные волны и все связанные с ними неудобства были непомерно умножены на этих путях.

3° Чугунные рельсы, обладая достаточно большой твердостью на поверхности, но на малую толщину, когда эта поверхность изнашивалась, часть, которую она покрывала, сопротивлялась очень неравномерно и вскоре становилась шероховатой и вызывающей толчки, что приводило к увеличению тяги и разболчиванию пути.

Эти мотивы и некоторые другие побудили принять катаные железные рельсы. В течение некоторого времени, хотя и изменили применяемый материал, длину и систему крепления рельса, продолжали придавать нижней части рельса форму балки равного сопротивления, так называемую «рыбообразную». Но вскоре отказались и от этой формы, которая создавала сложности в производстве и укладке и которая, вместо того чтобы

усиливать рельс, ставила его в неблагоприятные условия сопротивления, как только речь пошла не об отдельных твердых телах, покоящихся изолированно от подушки к подушке, а о непрерывных элементах, которые можно было рассматривать как почти защемленные на шпалах. Известно, в самом деле, что не только в середине интервалов, но также и в точках защемления защемленные элементы стремятся главным образом сломаться.

Сначала принятая форма была формой T, причем вертикальная часть имела целью придать больше прочности, затем накопили в верхней части некоторое количество материала, чтобы заставить играть большую роль крайние волокна, которые наиболее эффективно противодействуют изгибу. Пришли, пройдя через последовательные модификации (рис. 35), к форме двойного *T*, generally принятой сейчас. Внутренний выступ верхней части рельса имеет тенденцию отделяться от вертикальной части; обычно размещают контрфорсы для связи этих двух частей между собой; также срезают выступающие углы и приходят, таким образом, к форме, очень мало отличающейся от указанной (рис. 36). Одно из больших преимуществ формы двойного *T* состоит в том, что можно поместить рельс в четырех положениях относительно реборды колеса; эта необходимость последовательно предъявлять различные части рельса реборде колеса проистекает не из-за износа рельса от качения, так как этот износ незаметен, и не из-за окисления, так как окисления не происходит во время движения, а из-за того, что на некоторых рельсах на краю образуются продольные трещины, которые часто распространяются очень далеко. Можно в определенной мере предотвратить эти недостатки, придавая рельсу легкую выпуклость в поперечном направлении.

В Англии на Бристольской дороге была опробована система рельсов, имеющих форму, указанную на рис. 37, и закрепленных гвоздями с потайными головками. Эта система, по-видимому, не представляет никаких реальных преимуществ и имеет некоторые недостатки, связанные с гвоздями, которые их крепят.

Система скрепления.

Мы видели, что в старой системе желобчатых рельсов рельсы крепились с помощью гвоздей, что давало очень плохие результаты. Как только приняли выступающие рельсы, их заканчивали своего рода ушками, которые опирались на каменные подушки, где их крепили шпильками; в этой системе рельсы располагались встык друг к другу. Нагрузка в конечном итоге приходилась на четыре конца ушек (рис. 38); и так как верхние поверхности трех последовательных подушек не находились в одной плоскости, ушки оказывались на весу, и жесткость чугуна, не позволяя системе прогибаться, часто ломала ушки, непосредственно воспринимающие действие вагонов.

Возникла идея поместить третье тело между рельсом и подушкой, чтобы смягчить часть удара, и рельсы стали опирать на подушку через посредство чугунной детали, называемой подушкой (башмаком).

Эти подушки крепились к каменным опорам двумя шпильками, а конец каждого рельса, лежащий на подушке, дополнительно проходил через горизонтальный стержень, проходящий через обе щеки подушки (рис. 39). Заметили, что подушки, более или менее оседая под весом повозок, наклонялись вперед или назад во время прохождения вагонов, которые их проезжали; тогда конец одного рельса поднимался, в то время как конец соседнего рельса опускался (рис. 40), что приводило к резкому выступу на верхней поверхности железнодорожного пути и к удару, вредному для рельсов, колес вагонов и движущей силы.

Чтобы уменьшить этот недостаток, стали соединять рельсы вполжелеза, срезая их и перекрывая примерно на 0,06 м. Подушка проходилась только одним горизонтальным стержнем, который проходил через стык двух рельсов; кроме того, срезая углы горизонтальной части, на которую опираются рельсы, и придавая ей выпуклую форму, подушка представляла только одну точку опоры вертикально под серединой стыка. Благодаря этому устройству каждый рельс опирался на эту вершину, и каменная опора могла наклоняться вперед или назад без того, чтобы точка опоры сколько-нибудь заметно изменилась, или, по крайней мере, оба рельса опускались вместе. Эта система имела недостатки из-за натяжений стержня при тепловом расширении или сжатии рельсов.

Тогда попытались связать рельсы с подушками другим способом, а не с помощью стержней. В одной из щек подушки устроили утолщение, в которое входит сбоку выступающая часть рельса; чтобы прижать рельс к подушке, которую он касается только одной щекой, между другой щекой и рельсом забивают клин из дерева или железа; его вводят горизонтально и параллельно длине рельса в небольшую выемку, сделанную в щеке подушки для входа.

На Ливерпульской железной дороге использовали эту систему с двумя железными клиньями; при забивании этих клиньев можно расколоть щеку подушки; это недостаток, которого не представляли деревянные клинья, использовавшиеся на дорогах Роанн и Денен. Но на этих последних дорогах рельс был принужден касаться подушки в довольно большом количестве точек; и ему оставили очень большую высоту вне подушки; из-за указанного положения, вынуждавшего контакт во многих точках, возникали трудности укладки и некоторая неопределенность в положении рельса; из-за большой высоты рельса над подушкой возникала неприятная тенденция к опрокидыванию и недостаток устойчивости.

На дороге Лидс – Селби рельс, за исключением верхней части, был полностью погружен в подушку; он опирается на щеку только в двух точках и прижимается деревянным клином несколько изогнутой формы (рис. 41).

Наконец, в современной системе используют деревянные клинья, которые поддерживают рельс очень близко к головке и которые не имеют изогнутой формы, как у рельса Селби (рис. 42).

Клинья последовательно размещали внутри и снаружи колеи. Когда они снаружи, действие вагонов, которые всегда толкают рельсы в эту сторону, передается на подушку менее резко, и верхняя часть A подушки (рис. 43) оказывается нависающей под выступом рельса и, таким образом, уходит от реборды колеса. Это позволяет, кроме того, засыпать клинья песком и немного уберечь их от атмосферных воздействий, которые высушили бы их, увеличили бы зазор и ускорили бы их разрушение.

5° Краткие указания касательно составления проектов.

Ранее были даны общие принципы строительства искусственных сооружений, для какого бы пути сообщения они ни предназначались. В изложении о железной дороге Орлеан были представлены специальные указания об особых условиях, которым должны удовлетворять искусственные сооружения, строящиеся для устройства железных дорог. Мы добавим здесь лишь два-три кратких замечания.

Мосты, сооружаемые под железными дорогами, должны, в общем, строиться из каменной кладки, если только этому не препятствуют серьезные трудности; тем более следует придерживаться этой рекомендации, чем больший пролет должны иметь мосты. Упругие свойства, присущие дереву и железу, в данном случае неблагоприятны; и, кроме того, есть мотивы иного характера, которые также склоняют к отказу от их применения.

Висячие мосты слишком подвижны, чтобы можно было безнаказанно нагружать их огромными массами, составляющими состав. Была сделана одна или две попытки такого способа строительства, которые не были удачными; пришлось впоследствии поддерживать настилы с помощью форм или кружал, устроенных снизу. Это был результат, который можно было предсказать без труда.

Даже если предположить, что эти мосты оказали бы достаточное прямое сопротивление в момент их сооружения, следовало бы опасаться, что непрерывность вибраций, возникающих от прохода составов, постепенно нарушит структуру проволок, составляющих канаты, или стержней, составляющих цепи; и что за довольно короткий промежуток времени проход составов не мог бы осуществляться без опасности.

Это замечание относится, как можно понять, не только к железу, используемому в висячих мостах; оно generally относится к железу и чугуну, используемым каким-либо образом для устройства пролетов под железными дорогами; однако, когда речь идет о преодолении очень малых отверстий, для которых можно будет легко использовать балки с большим запасом прочности, во многих случаях будет хорошо использовать чугун; от чего будет благоразумно воздерживаться, так это от строительства без хорошо установленной необходимости больших чугунных мостов, пока не будет приобретен более

полный опыт относительно важности воздействий, которое должна оказывать на сооружения такого рода обычная эксплуатация железной дороги.

Что касается деревянных мостов, то против них говорят и частые ремонты, к которым они могут приводить, и быстрое разрушение, которому подвержены их соединения, постоянно приводимые в действие огромными нагрузками. Если бы их пришлось обязательно строить, было бы уместно допускать в них только элементы с плоским сечением, без шипов и гнезд, опирающиеся на чугунные башмаки или гнезда, соответствующим образом устроенные.

К этим кратким замечаниям нам кажется полезным добавить некоторые указания о размере расходов, которые обычно требуют приобретения и работы, необходимые для строительства железной дороги.(*)

Эти указания, которые могут позволить предварительно и путем сравнения оценить большую или меньшую важность сумм, подлежащих затрате на выполнение предварительного проекта, относятся к протяженности зоны земли, подлежащей отчуждению, к объему и средней цене земляных работ на погонный метр, к средней цене на километр обычных искусственных сооружений, к цене тоннелей и к цене эксплуатационного оборудования; все это выведено из результатов, наблюдавшихся на некотором числе дорог, построенных до сих пор.

Средняя ширина земель, подлежащих отчуждению для строительства железной дороги.

Средняя ширина земель, подлежащих отчуждению для строительства железных дорог в несколько пересеченной местности, может быть оценена от 35 до 40 метров.

Эта ширина, которая на первый взгляд может показаться преувеличенной, необходима по нескольким причинам, главные из которых:

1° Заложение откосов, требуемых выемками и насыпями, часто значительными для железной дороги.

2° Отвалы и резервы грунта, которые часто приходится устраивать вблизи дороги, чтобы избежать слишком дальних перевозок.

3° Боковые дороги шириной 3, 4, 5, а иногда и 6 м, которые жители справедливо требуют и которые комиссии по расследованию легко допускают, для восстановления прерванных сообщений и для обслуживания имуществ, разрезанных железной дорогой.

(*) Эти указания взяты из отчета, зачитанного Совету по мостам и проезжей части г-ном инспектором отдела Малле от имени комиссии, состоящей из г-на Февра, г-на Кеммангана, г-на Минара, г-на Сильги и г-на Малле-докладчика.

4° Боковые канавы, необходимые для восстановления течения вод, измененного строительством дороги.

5° Разъездные и стояночные пути и их принадлежности.

В сводной таблице площадей земли, приобретенных для железной дороги Орлеан, видно, что средняя ширина составляет действительно 40,61 м.

Записка, исходящая от г-на Талабо, оценивает среднюю ширину земель, купленных для железной дороги Але – Бокер, в 44,40 м.

На железной дороге Руана купили 430 га на длину 127 километров: средняя ширина, следовательно, составляет 33,80 м. Эта площадь не включает вокзалы, по крайней мере главные.

Объем и средняя цена земляных работ на погонный метр.

Объем земляных работ на Руанской дороге составляет 3 188 399 м³ на расстояние 122 324 м. Эти две цифры дают на погонный метр 25,50 м³.

На Орлеанской дороге этот объем составляет . . . . . 33,00 м³.

На дороге Монпелье – Ним он составляет . . . . . 22,00 м³.

На Орлеанской железной дороге средняя цена кубометра земляных работ составила 1,50 фр.; на Руанской – 1, 68 фр.; на дороге Монпелье – Ним она, по-видимому, должна составить 1, 45 фр.

Средняя цена искусственных сооружений на километр.

На Орлеанской дороге, на протяжении 133 км, сооружений насчитывается 221, не считая прохода под внешним бульваром в Париже, который стоил . . . . . 205 000 фр.

Проход в Шуази . . . . . 160 000 фр.

Виадук через Орж . . . . . 250 000 фр.

То же через Иветт . . . . . 100 000 фр.

Два виадука в Этамп . . . . . 220 000 фр.

6 сооружений, стоящих . . . . . **935 000 фр**.

Расход, на который дали повод 221 обычное искусственное сооружение, составляет . . . . . **3 765 000 фр**.

На Руанской дороге, на протяжении 127 км, измеряемых от ее ответвления от дороги Сен-Жермен до Руана, насчитывается 221 искусственное сооружение, не считая четырех больших мостов через Сену, которые стоили около . . . . . 2 900 000 фр.

Эти 221 сооружение стоили . . . . . 3 220 000 фр.

Дорога Монпелье – Ним на протяжении 50 000 м представляет 98 искусственных сооружений (не считая виадука в Ниме), которые будут стоить . . . . . 1 600 000 фр.

Средняя цена каждого обычного искусственного сооружения будет, следовательно, на Орлеанской дороге . . . . . 17 056 фр.

На Руанской дороге . . . . . 14 570 фр.

И на дороге Монпелье – Ним . . . . . 16 300 фр.

На каждое льё в 4000 м на Орлеанской дороге придется 6,65 обычных искусственных сооружений, стоящих . . . . . 113 000 фр.

На Руанской дороге 6,95 обычных искусственных сооружений по цене . . . . 101 000 фр.

Искусственных сооружений на дороге Монпелье – Ним насчитывается 7,44 на льё, и они будут стоить . . . . . 128 000 фр.

Цена тоннелей.

Цена тоннелей изменяется в очень широких пределах.

Тоннели Сен-Кантен во Франции и Медуэй в Англии стоили всего 700–800 фр. за погонный метр, в то время как тоннель Пуйи обошелся в 2000 фр.; тоннель Ла-Колонсель – в 3000 фр., а тоннель Сен-Клу – в 2180 фр. В Англии тоннели Ливерпуля (третий), Клей-Кросс, Килсби и Бокс стоили за погонный метр 2220 фр., 2780 фр., 3400 фр. и 2500 фр.

Тоннели железной дороги Париж – Руан, общая длина которых составляет 5106 м, были присуждены по цене 1104,57 фр. за погонный метр. В большинстве из них, как и предполагали, нашли лишь довольно мягкие известняковые слои, разделенные кремнистыми прослойками; но в тоннеле Ролльбуаз, самом длинном из всех (2600 м), эта однородность грунта не подтвердилась, и на протяжении 600 м встретился своего рода конгломерат (пуддинг), состоящий из кремнистой гальки, заключенной в очень твердый известняковый цемент, причем на всем сечении выработки. Отсюда увеличение расходов на 1000 фр. за погонный метр; так что тоннель Ролльбуаз обошелся, распределив этот прирост расходов на всю длину, в 1335 фр. вместо 1104,57 фр.

Цена эксплуатационного оборудования.

Подвижной состав дороги Лондон – Бирмингем, длина которой 480,5 км[(*)], имеет стоимость 8 400 000 фр., т.е. на километр . . . . . 46,500 фр.

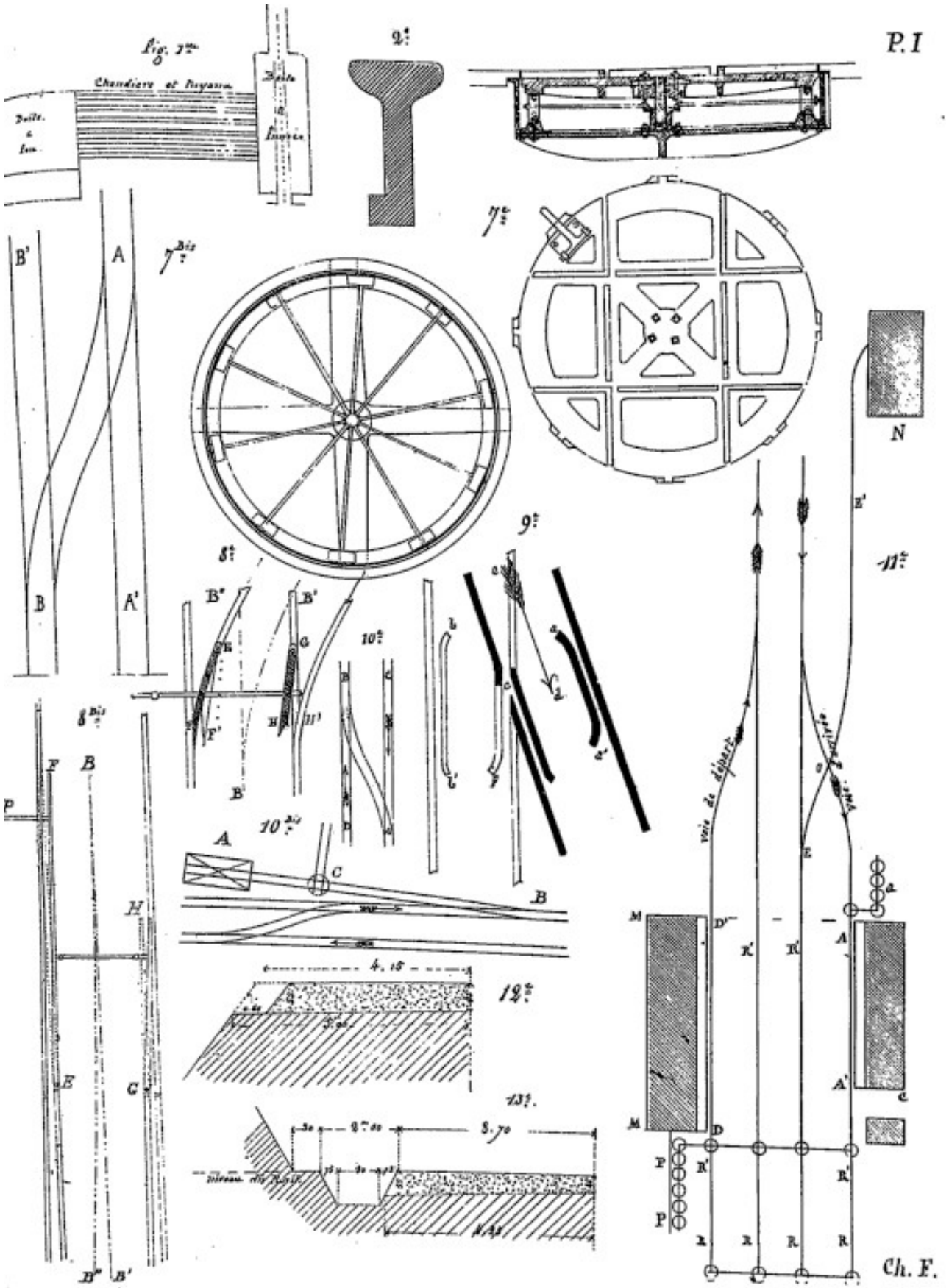
То же для дороги Лондон – Саутгемптон, длиной 123 км – 5 000 000 фр., 40,650 фр.

(*) Ошибка в рукописи : написано 480 км, тогда как расстояние составляет 180 км. Таким образом, указанная цена является правильной.

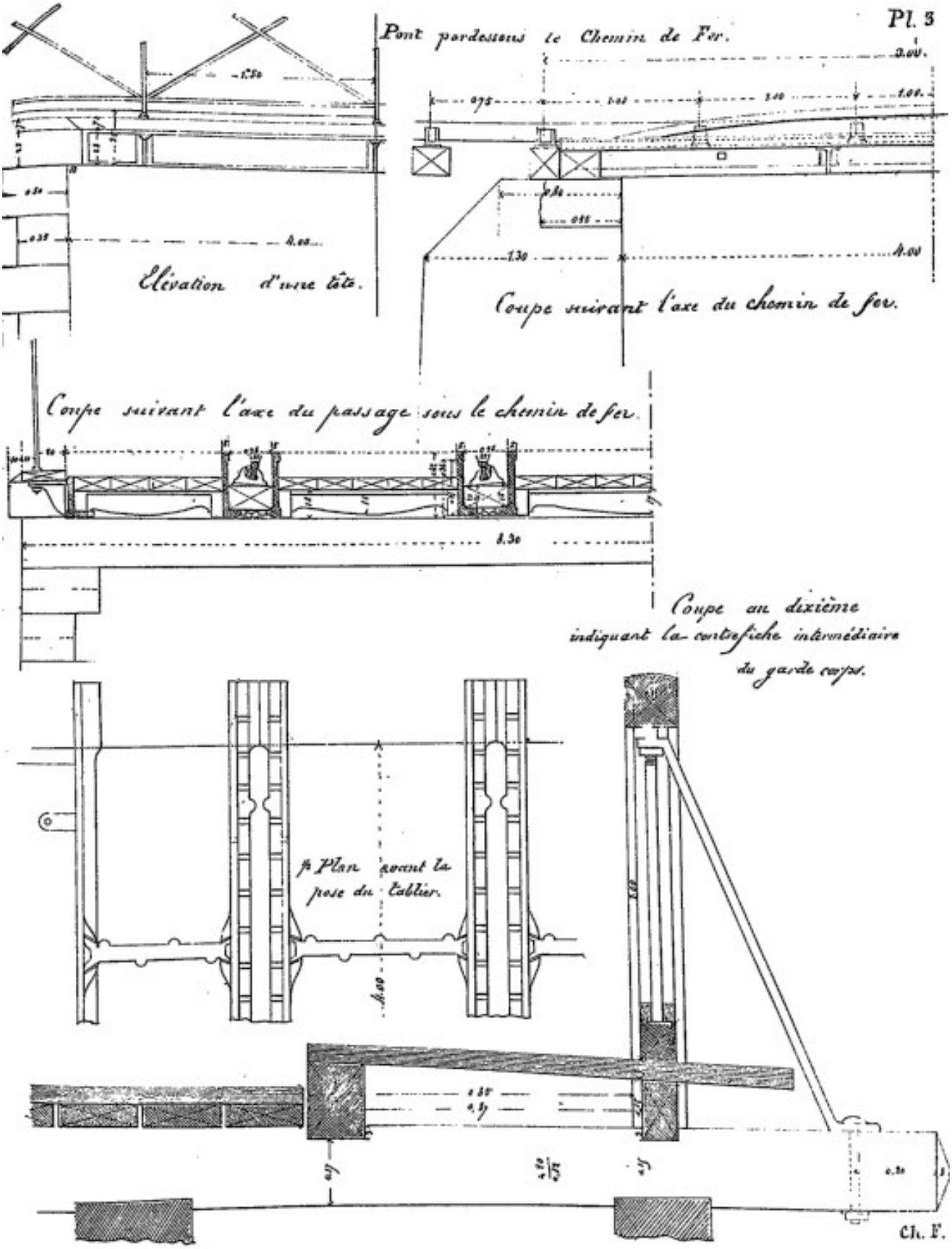
т.е. на километр	
То же для дороги Гранд-Джанкшен, длиной 133 км – 5 400 000 фр., т.е. на километр	40,600 фр.
Оборудование Орлеанской дороги для 133 км составляет 4 700 000 фр., т.е. на километр	36,340 фр.
Наконец, оборудование Бельгийской дороги, длиной 561 км(**), составляет 20 600 000 фр., т.е. на километ	38,148 фр.
Общая сумма	202,238 фр.

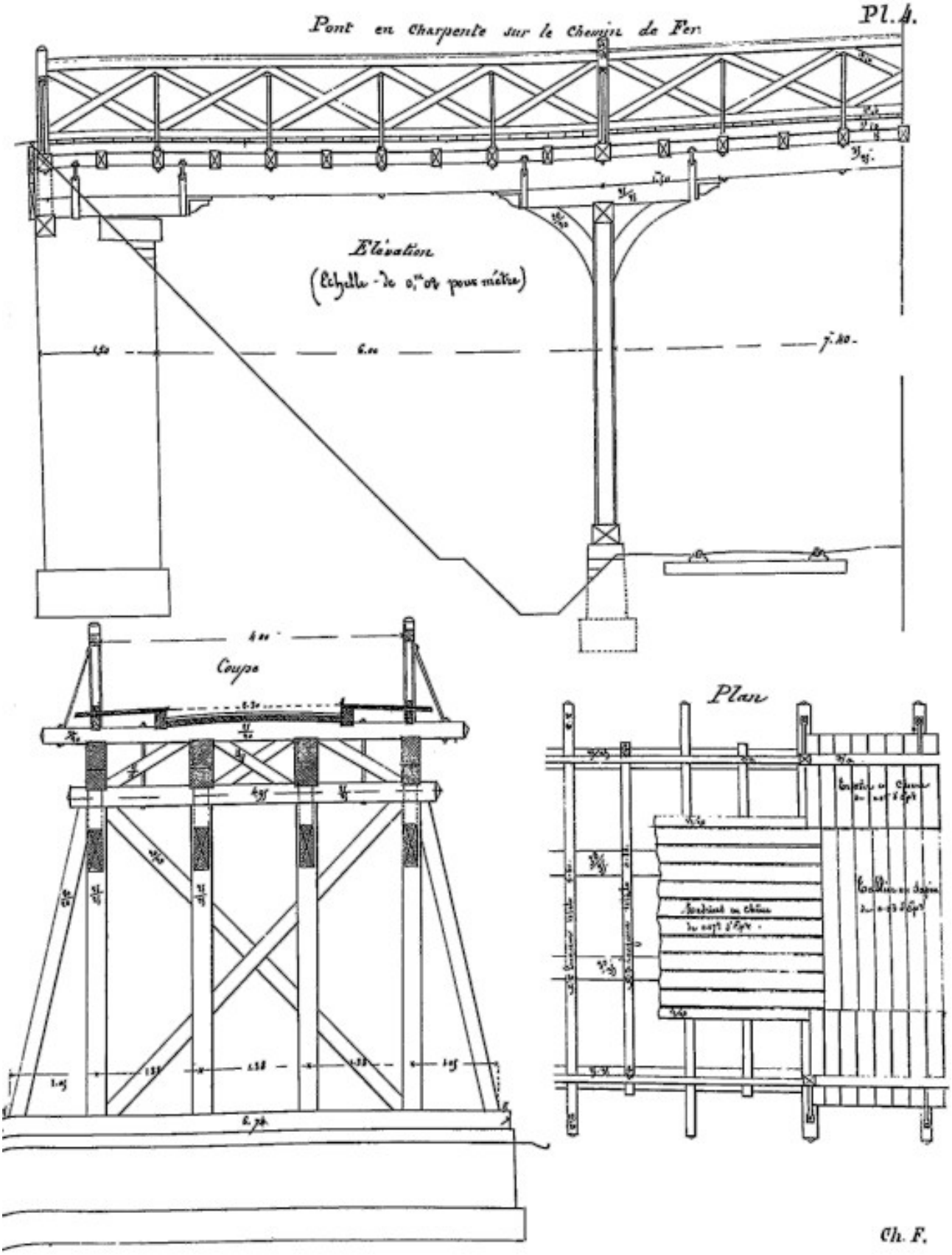
Среднее арифметическое всех этих чисел составляет около 40 000 фр. на километр.

(**) Здесь тоже расчет не верен. Ошибка в исходных данных о пробеге (должно быть 540 км)


P. I
Chaudière et Tuyaux
Boîte à fumée
Boîte à feu
2e
7e
7 Bis
8e
8 Bis
9e
10e
10 Bis
11e
12e
13e
N
voie de départ
voie d'arrivée
4.15
8.70
Ch. F.

Pl. 2.
Demi profil pour le sable, lorsqu'on est en remblai.
fig. 3.
Demi profil pour le sable, lorsqu'on est en déblai.
fig. 4.
Demi profil pour la pierre cassée, lorsqu'on est en remblai.
fig. 5.
Demi profil pour la pierre cassée, lorsqu'on est en déblai.
fig. 6.
CH. F.


Pl. 3
Pont pardessus le Chemin de Fer.
Elévation d'une tête.
Coupe suivant l'axe du chemin de fer.
Coupe suivant l'axe du passage sous le chemin de fer.
Coupe au dixième indiquant la contrefiche intermédiaire du garde corps.
Plan avant la pose du tablier.
Ch. F.


Pl. 4.
Pont en Charpente sur le Chemin de Fer
Élévation
(Echelle de 0,m 01 pour mètre)
Coupe
Plan
Ch. F.

Pl. 5.

Pont par dessous le Chemin de Fer.

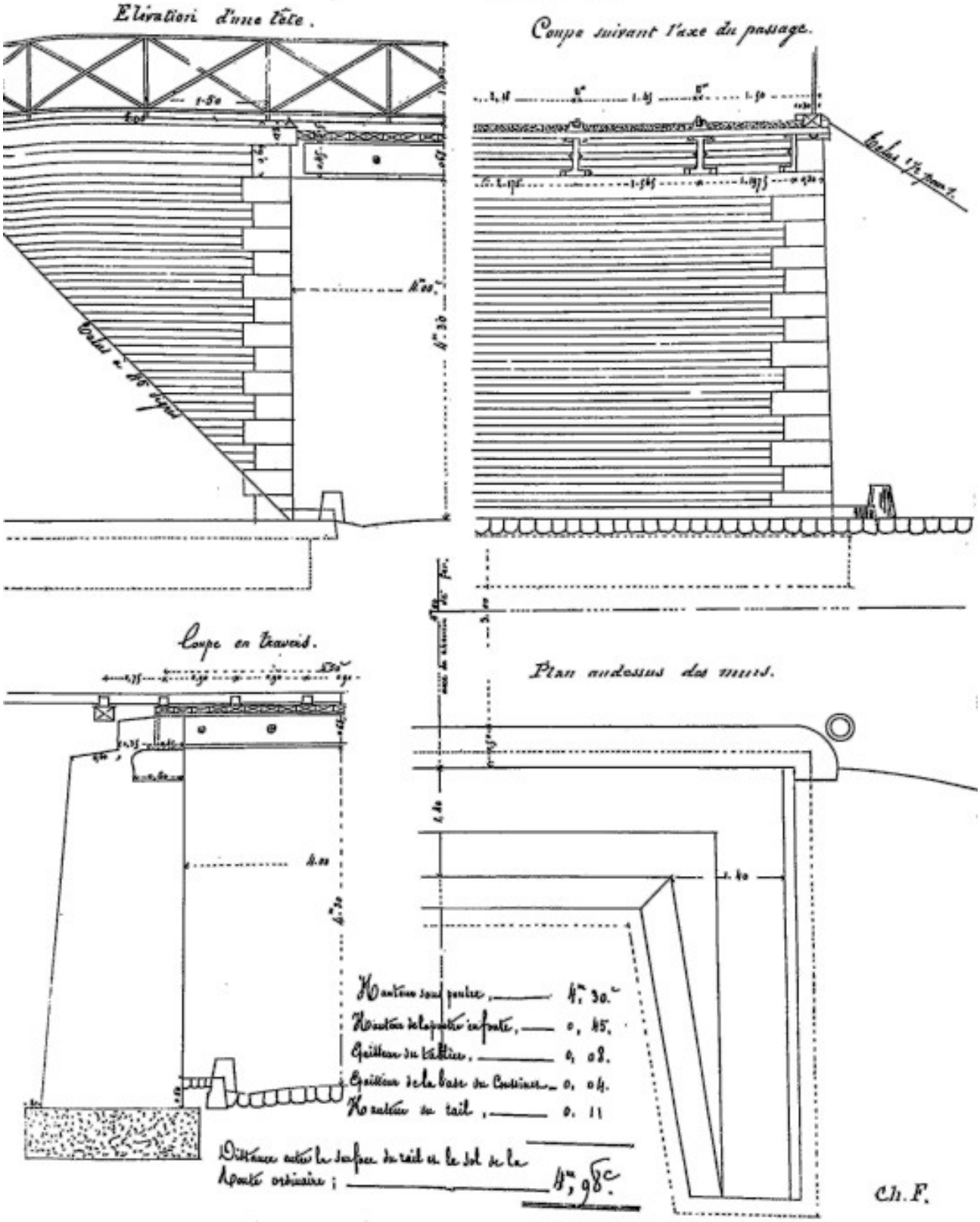
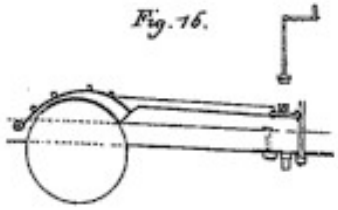


Fig. 18.

Pl. 6.

Fig. 16.



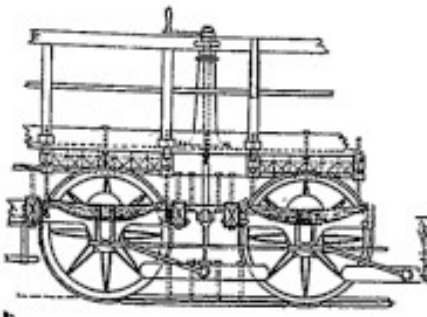


Fig. 17

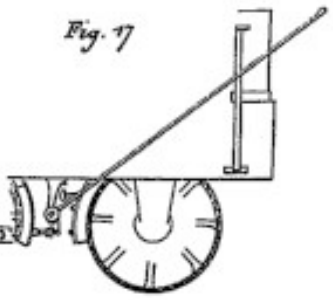


Fig. 16bis

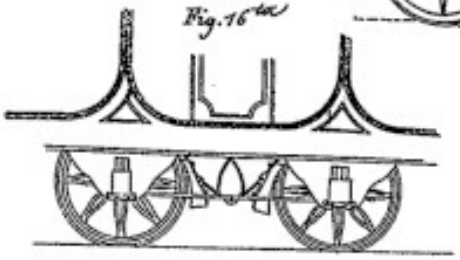


Fig. 19.

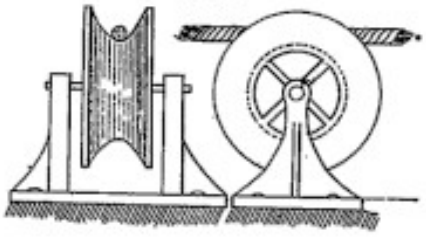


Fig. 16ter

Fig. 21.

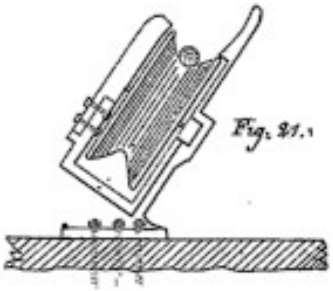
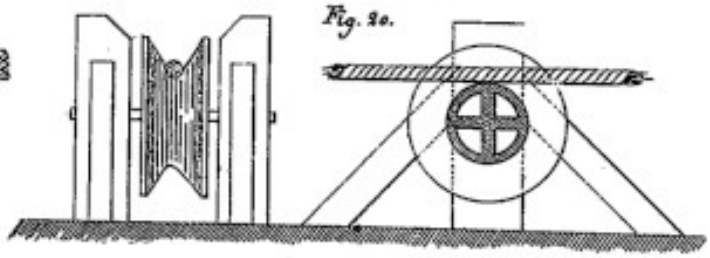


Fig. 20.



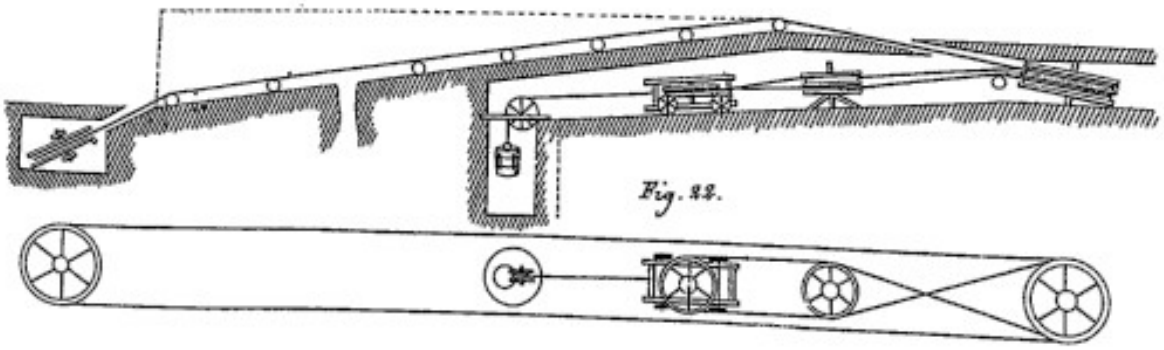


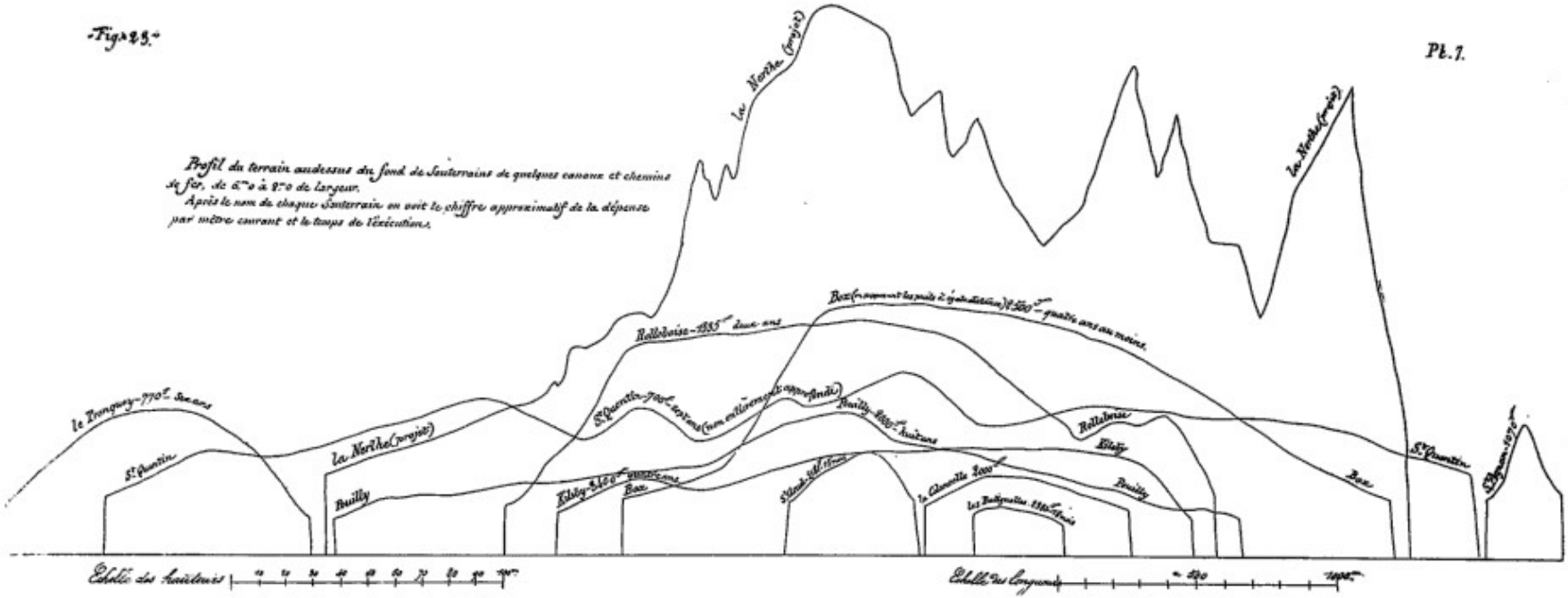
Fig. 22.

CH.R

Fig. 23.

Pl. 7.

Profil du terrain au dessus du fond de Souterrains de quelques canaux et chemins de fer, de 6.m 0 à 9.m 0 de largeur.
Après le nom de chaque Souterrain on voit le chiffre approximatif de la dépense par mètre courant et le temps de l'exécution.



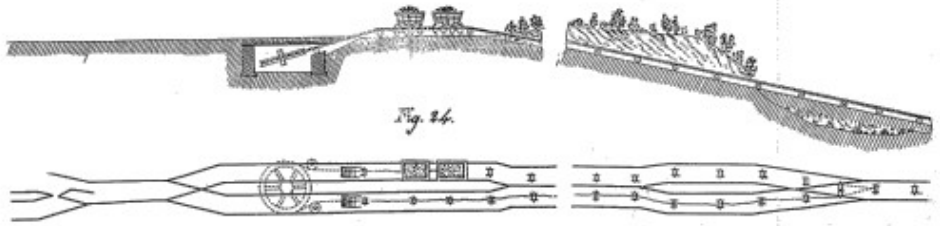
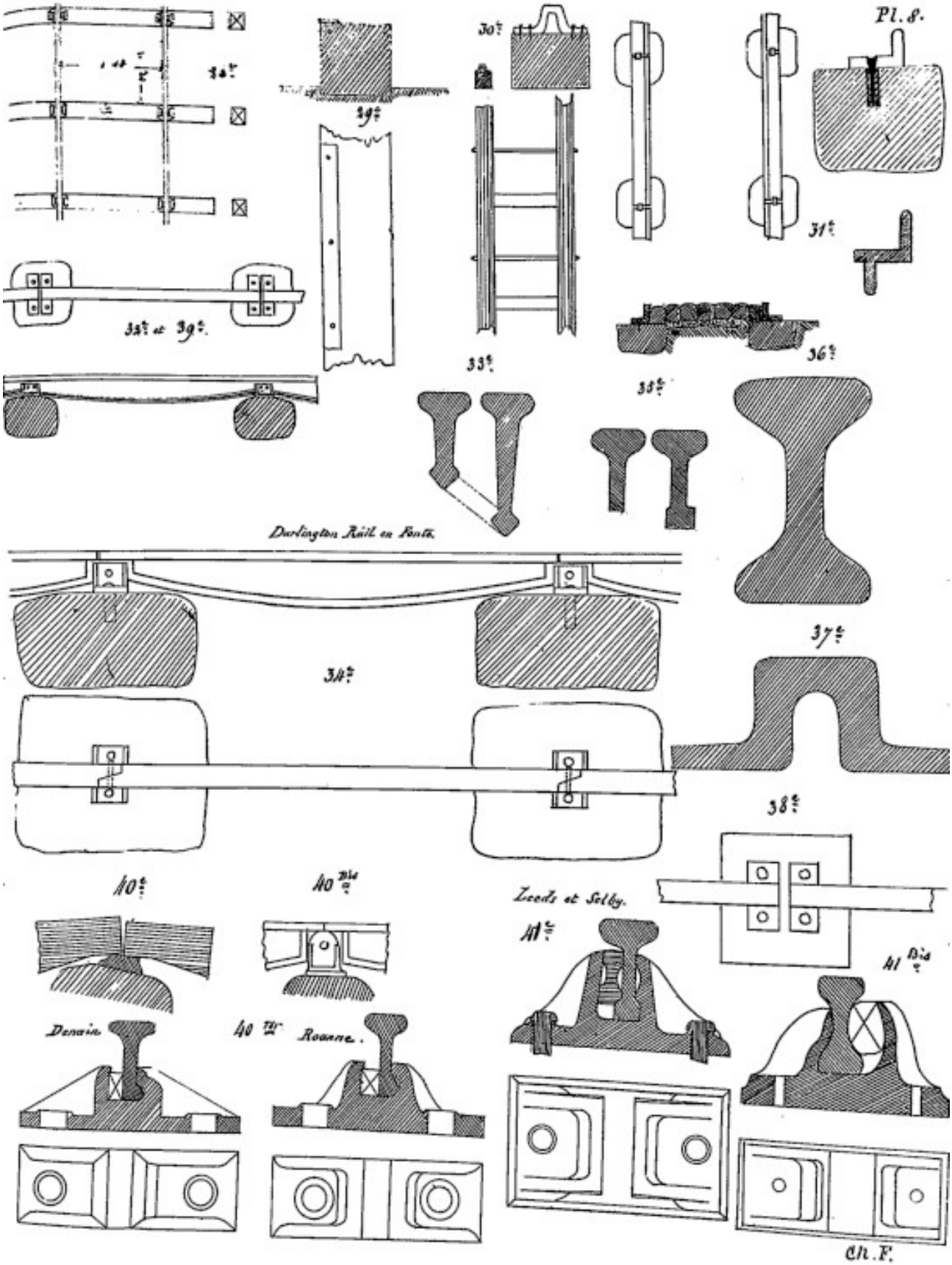


Fig. 24.

CH.P.


Pl. 8.
Darlington Rail en Fonte.
Leeds et Selby.
Denain
Roanne.
Ch. F.

Оглавление

Заметки из курса железных дорог (1842–1843).....1
1-я Лекция.....1
Общие идеи об эксплуатации железной дороги.....1
2-я Лекция.....8
Обсуждение формул.....10
О полезной работе.....12
3-я Лекция.....14
О максимальной полезной работе.....14
Способы преодоления подъемов на железных дорогах.....17
Описание работ на железной дороге Париж – Орлеан.....22
5-я Лекция.....29
6-я Лекция.....33
О земляных работах.....33
О верхней поверхности грунта в насыпи.....33
О способах укрепления откосов.....35
О средствах транспорта для выполнения земляных работ.....36
7-я Лекция.....38
Об искусственных сооружениях.....38
I. О неординарных сооружениях.....39
II. Об обычных сооружениях.....40
I. О переездах в одном уровне.....40
II. О мостах и водопропускных трубах под железной дорогой.....41
III. О путепроводах над железной дорогой.....45
8-я Лекция.....47
Заметки из курса железных дорог.....56
О принципах, которые должны определять выбор трасс железных дорог.....56
Общие трассы.....66
О неудобствах и опасностях, проистекающих из соединительных кривых, и о средствах, предложенных для облегчения движения составов по кривым малого радиуса.....69
Устройство пути.....76
1° Ширина колеи.....76
2° Способ устройства пути.....78
3° О расстоянии между опорами и весе рельсов.....79
4° Форма рельсов.....80
Система скрепления.....82
5° Краткие указания касательно составления проектов.....84

Средняя ширина земель, подлежащих отчуждению для строительства железной дороги....85
Объем и средняя цена земляных работ на погонный метр....86
Средняя цена искусственных сооружений на километр....86
Цена тоннелей....87
Цена эксплуатационного оборудования....87
Чертёж 1....89
Чертёж 2....90
Чертёж 3....91
Чертёж 4....92
Чертёж 5....93
Чертёж 6....94
Чертёж 7....95
Чертёж 8....96